

DIE FARBEINWIRKUNG VON CHLORHEXAMED  
UND EINER 2 %-IGEN ERYTHROSINLÖSUNG AUF  
NEUERE FRONTZAHNFÜLLUNGSMATERIALIEN

Erwin Menhofer

1985

*Dess  
München*





Digitized by the Internet Archive  
in 2026



Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung  
und Parodontologie  
(Direktor: Professor Dr. E. Sonnabend)  
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten  
der Universität München

DIE FARBEINWIRKUNG VON CHLORHEXAMED UND  
EINER 2 %-IGEN ERYTHROSINLÖSUNG AUF  
NEUERE FRONTZAHNFÜLLUNGSMATERIALIEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde  
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Erwin Menhofer  
aus  
Augsburg

1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. E. Sonnabend

Mitberichterstatter: -

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 28. 01. 86

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. Vorwort                        | 1  |
| 2. Einleitung                     | 2  |
| 3. Die Bedeutung der Arbeit       | 3  |
| 4. Die Aufgaben der Arbeit        | 4  |
| 5. Die Organisation der Arbeit    | 5  |
| 6. Die Durchführung der Arbeit    | 6  |
| 7. Die Kontrolle der Arbeit       | 7  |
| 8. Die Bewertung der Arbeit       | 8  |
| 9. Die Verantwortung der Arbeit   | 9  |
| 10. Die Zusammenarbeit der Arbeit | 10 |
| 11. Die Arbeitszeit               | 11 |
| 12. Die Arbeitslohn               | 12 |
| 13. Die Arbeitsbedingungen        | 13 |
| 14. Die Arbeitszufriedenheit      | 14 |
| 15. Die Arbeitsmotivation         | 15 |
| 16. Die Arbeitsproduktivität      | 16 |
| 17. Die Arbeitsqualität           | 17 |
| 18. Die Arbeitsmoral              | 18 |
| 19. Die Arbeitsdisziplin          | 19 |
| 20. Die Arbeitskultur             | 20 |
| 21. Die Arbeitsethik              | 21 |
| 22. Die Arbeitspsychologie        | 22 |
| 23. Die Arbeitsphysiologie        | 23 |
| 24. Die Arbeitsmedizin            | 24 |
| 25. Die Arbeitsrecht              | 25 |
| 26. Die Arbeitsverwaltung         | 26 |
| 27. Die Arbeitsmarktforschung     | 27 |
| 28. Die Arbeitsberufshilfe        | 28 |
| 29. Die Arbeitsberatung           | 29 |
| 30. Die Arbeitsbeschaffung        | 30 |
| 31. Die Arbeitsvermittlung        | 31 |
| 32. Die Arbeitsagentur            | 32 |
| 33. Die Arbeitslosenversicherung  | 33 |
| 34. Die Arbeitslosenrente         | 34 |
| 35. Die Arbeitslosenunterstützung | 35 |
| 36. Die Arbeitslosenversicherung  | 36 |
| 37. Die Arbeitslosenversicherung  | 37 |
| 38. Die Arbeitslosenversicherung  | 38 |
| 39. Die Arbeitslosenversicherung  | 39 |
| 40. Die Arbeitslosenversicherung  | 40 |
| 41. Die Arbeitslosenversicherung  | 41 |
| 42. Die Arbeitslosenversicherung  | 42 |
| 43. Die Arbeitslosenversicherung  | 43 |
| 44. Die Arbeitslosenversicherung  | 44 |
| 45. Die Arbeitslosenversicherung  | 45 |
| 46. Die Arbeitslosenversicherung  | 46 |
| 47. Die Arbeitslosenversicherung  | 47 |
| 48. Die Arbeitslosenversicherung  | 48 |
| 49. Die Arbeitslosenversicherung  | 49 |
| 50. Die Arbeitslosenversicherung  | 50 |

Gewidmet meinen lieben Eltern



# INHALTSVERZEICHNIS

## Seite

|      |                                              |    |
|------|----------------------------------------------|----|
| 1.   | Einleitung zum Problem der Farbeinwirkung    | 1  |
| 2.   | Chlorhexidin                                 | 2  |
| 2.1. | Chemischer Aufbau und Anwendung              | 2  |
| 2.2. | Nebenwirkungen                               | 4  |
| 3.   | Farbdetektoren zur Plaqueerkennung           | 8  |
| 3.1. | Applikationsformen                           | 8  |
| 3.2. | Erythrosin                                   | 10 |
| 4.   | Frontzahnfüllungsmaterialien                 | 11 |
| 4.1. | Polymerisationssysteme                       | 11 |
| 4.2. | Füllkörper                                   | 14 |
| 4.3. | Polierbarkeit                                | 16 |
| 4.4. | Biegebruchfestigkeit                         | 17 |
| 4.5. | Porenbildung                                 | 17 |
| 4.6. | Wasseraufnahme und Volumenbeständigkeit      | 17 |
| 4.7. | Farbkonstanz und Substanzverlust             | 20 |
| 4.8. | Gewebe- und Pulpenverträglichkeit            | 22 |
| 5.   | Eigene Untersuchungen                        | 24 |
| 5.1. | Materialvorstellung                          | 24 |
| 5.2. | Herstellung der Prüfkörper                   | 26 |
| 5.3. | Versuchsaufbau und -durchführung             | 28 |
| 5.4. | Meßverfahren und Meßgerät                    | 30 |
| 6.   | Auswertung und Beurteilung der Meßergebnisse | 41 |
| 7.   | Zusammenfassung                              | 59 |
| 8.   | Literaturverzeichnis                         | 61 |



## 1. EINLEITUNG

Lange schon dient Chlorhexidin in vielfältiger Form als bewährtes Mittel zur Desinfektion der Mundhöhle und zur Verminderung der Plaquebildung. Immer wieder werden in der Literatur Nebenwirkungen, insbesondere Verfärbungen beschrieben. Meist handelte es sich um oberflächliche Beläge, die nach mehrmaliger, gründlicher Zahnreinigung völlig verschwanden. Bleibende Verfärbungen von Frontzahnfüllungen sind für den Patienten wie für den Zahnarzt nur in Ausnahmefällen akzeptable Begleiterscheinungen, da sie nur durch die Erneuerung der Füllungen, also unter Zeit- und Kostenaufwand, sowie meist mit weiterem Verlust von Zahnhartsubstanz beseitigt werden können.

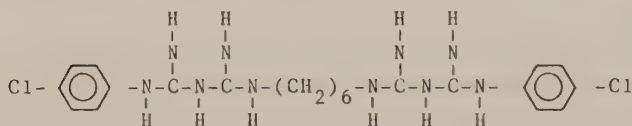
Plaquesfärbemittel, wie sie derzeit oft zur Effektivitätssteigerung der Mundhygiene verwendet werden, sind bis heute in der Literatur noch nicht auf eine eventuelle Farbeinwirkung beschrieben worden. Ziel dieser Arbeit ist es, die jüngste Generation von Frontzahnfüllungsmaterialien auf die Farbeinwirkung von Chlorhexamed und eines Farbdetektors mit einer neuen, modernen Meßmethode zu untersuchen und festzustellen, ob nach korrekter Verarbeitungsweise und Oberflächenbehandlung der Kunststoffe eine Verfärbung auftreten kann.

## 2. CHLORHEXIDIN

Chlorhexidin gehört nunmehr seit über 25 Jahren zu den viel benutzten, viel untersuchten und in der wissenschaftlichen Literatur viel beschriebenen Medikamenten. Diese Tatsache läßt uns auf eine umfangreiche Beschreibung des Produktes verzichten, nachfolgend soll nur das Wesentliche dargestellt werden.

### 2.1. Chemischer Aufbau und Anwendung

Chlorhexidin ist eine kationische Diglukonat-Verbindung mit folgender Strukturformel:



Das symmetrische Molekül besteht demnach aus zwei 4-Chlorphenyl-Ringen und zwei Diglukonat-Gruppen, die durch eine zentrale Hexamethylen-Bindung verknüpft sind.

Chlorhexidin kam zunächst in den USA unter dem Namen HIBITANE<sup>R</sup> als allgemeines Desinfiziens mit breitem antibakteriellem Spektrum gegen grampositive und gramnegative Erreger auf den Markt. Der Gebrauch des Chlorhexidins erfolgt seit 1954 auf den Gebieten der Gynäkologie, Urologie und Ophthalmologie, bei der Desinfektion von Operationsfeldern und Behandlung von Verbrennungen (18).

In der Zahnheilkunde wurde es erstmalig ab 1959 zur Wurzelkanal-desinfektion und Reinigung von Operationsfeldern verwendet, und seit 1966 gibt es erste Berichte über Plaquehemmung. (5)

Die Indikationsmöglichkeiten sind laut Produkt-Beipackzettel vielfältig: "Die Chlorhexamed-Lösung wirkt durch antibakterielle und antimykotische Aktivität entzündungshemmend und

desodorierend. Dadurch werden Entzündungen und Mundgeruch beseitigt."

Zur häuslichen Anwendung: "Bei akuten Entzündungen im Mund- und Rachenraum wie Gingivitis, Stomatitis, Tonsillitis, Pharyngitis, Glossitis und Aphten."

In der zahnärztlichen Praxis: "Vor der Behandlung zur Verminderung der Keimzahl im Aerosol, vor operativen zahnärztlichen Eingriffen, bei Herdinfektionsgefahr, nach operativen Eingriffen zur Beschleunigung der Wundheilung und zur Verhinderung einer eventuellen Bakteriämie."

Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind bei eingeschränkter Gelegenheit zur normalen Mundhygiene zu finden: "z.B. bei Kieferbruchschienung, ulcerösen Gingivitiden, bei Intensivpflege, bei manuell Behinderten, bei desalivierten Patienten, bei Gerüstimplantaten, Hybrid- oder Klammerprothesen sowie abnehmbaren Teleskop-Brücken, bei Entzündungen unter Prothesen (z.B. Soor, Prothesenstomatitis), bei vermindertem Speichelfluß und Immediatprothesen."

Bei dieser letzten Indikationsgruppe ist die plaquehemmende Wirkung des Chlorhexidins die herausragende Eigenschaft. (7, 15, 26, 28, 29, 31, 33, 52, 62). Rebstein und Mitarbeiter (52) beschreiben eine fast vollständige Plaquehemmung bei ihren Probanden während einer Versuchsdauer von 6 Wochen.

Die große unspezifische Wirkung von Chlorhexidindigluconat sowohl gegen grampositive als auch gegen gramnegative Bakterien beruht auf einer Zerstörung der die Mikroorganismen schützenden Lipoproteinmembran mit Hilfe der lipophilen Gruppierungen des Wirkstoffs (15, 29, 62, 69). In Abhängigkeit von der Konzentration ist die Wirkung bakteriostatisch bzw. bakterizid. Bedingt durch eine hohe Adhärenz des Wirkstoffes zur Mundschleimhaut entsteht eine Art Depotwirkung, die zu einer mehrere Stunden anhaltenden Keimreduktion auch nach nur einmaliger Anwendung führt.

## 2.2. Nebenwirkungen

### Verfärbungen

Die häufigste Begleiterscheinung bei der Chlorhexidin-Anwendung stellt das Auftreten von bräunlich-schwarzen Verfärbungen des Zahnschmelzes, von Frontzahnfüllungen und Prothesenkunststoffen dar (1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16, 20, 24, 25, 28, 29, 30, 35, 36, 46, 48).

Diese Farbveränderungen können bereits nach mehrtägiger Anwendung auftreten, wobei große individuelle Schwankungen zu beobachten sind, vergleichbar mit Verfärbungen durch Nahrungsmittelbestandteile von Kaffee, Tee und Rotwein. Ähnlich wie diese haften sie fest auf dem Untergrund. Die Genese ist noch nicht restlos geklärt. Manche Autoren (33) nehmen an, daß es sich hierbei lediglich um angefärbte Plaque handelt, allerdings sollen nach neueren Untersuchungen kationisch-anionische Beziehungen zwischen Chlorhexidin und bestimmten Nahrungsbestandteilen verantwortlich sein (3, 50).

Durch den Zusatz von Fluoriden zu chlorhexidinhaltigen Zahnpasten konnte lediglich eine Verzögerung der Farbveränderung erreicht werden (14).

Zur Beseitigung dieser Verfärbungen wird von mehreren Autoren (6, 15) die Verwendung einer abrasiven Zahnpasta oder auch nur gründliche Zahnreinigung bzw. gründliche Reinigung der Prothesen empfohlen. In den meisten Fällen, gerade bei Langzeitgebrauch, reicht dies jedoch nicht aus, so daß rotierende Instrumente bzw. Ultraschallgeräte zu Hilfe genommen werden müssen (33). Oft genug ist eine Erneuerung der Kunststoff-Füllungen angezeigt.

Es ist festzustellen, daß die Intensität der Verfärbungen mit steigender Behandlungsdauer zunimmt. Daher erscheint es nicht empfehlenswert, Chlorhexidinpräparate zur routinemäßigen Vorbeugung parodontaler Erkrankungen oder zur normalen Prothesendesinfektion zu benutzen (5, 15).

### Lingua villosa nigra

Ähnliche Verfärbungen finden sich ebenfalls auf der Zunge. In einigen Fällen zeigt sich nach einigen Tagen Chlorhexidin-

Anwendung das Bild einer *Lingua villosa nigra*, wie man es auch nach Antibiotika-Behandlung finden kann (33, 51). Dabei handelt es sich um eine nach heutigem Wissen harmlose, reversible Veränderung der Zunge, die durch eine Verlängerung der Papillae filiformes und eine schmutziggraue bis braun-schwarze Verfärbung gekennzeichnet ist. Die Lokalisation beschränkt sich auf den Zungenrücken; Zungenspitze und Zungenränder bleiben frei (66). Ebenfalls finden sich hier große individuelle Schwankungen. Manche Patienten zeigen dieses Bild bereits wenige Tage nach Beginn einer Chlorhexidin-Behandlung, andere bleiben auch nach Wochen noch völlig frei davon (66). Wiederum steigt die Häufigkeit und Schwere der Zungenveränderung mit zunehmender Dauer der Chlorhexidin-Therapie an. Die Ätiologie ist bisher nicht eindeutig geklärt. Man vermutet einen Mechanismus, der ähnlich wie bei der Entstehung der *Lingua villosa nigra* nach Antibiotika-Therapie zu einer Zerstörung des Gleichgewichts innerhalb der oralen Mikroflora führt, wodurch bestimmte Pigmente-produzierende Bakterienstämme überwuchern und so zu der besagten Farbveränderung führen können (66).

Eine Behandlung ist in der Regel nicht erforderlich. Nach Absetzen des Medikaments wird die Verfärbung blasser und verschwindet schließlich vollständig.

#### Geschmacksirritationen

Eine weitere die Zunge betreffende Nebenwirkung zeigt sich in Form einer vorübergehenden Geschmacksstörung (18, 19, 33, 58). Diese tritt regelmäßig bei allen Patienten nach Chlorhexidin-Gebrauch auf.

Es handelt sich hierbei nicht nur um eine Überlagerung der gustatorischen Empfindungen durch den bitteren Eigengeschmack des Chlorhexidins, sondern es kommt, abhängig von der Konzentration des Wirkstoffes und der Zeitdauer der Einwirkung, zu einer mehrere Stunden andauernden Hypo- oder Dysgeusie. Parallel zu diesen gustatorischen Störungen läßt sich eine Verminderung der Schleimhautsensibilität feststellen. Offensichtlich liegt nicht nur eine Überlagerung der Geschmacksempfindungen durch den Eigengeschmack des Wirkstoffs

vor, sondern es handelt sich wahrscheinlich um einen zytologischen Effekt, wie er auch bei Versuchen mit Zellkulturen gefunden werden konnte (27).

Verstärkt wird dieser Effekt durch die hohe Affinität des Medikaments zur Mundschleimhaut, wodurch rasches Auswaschen verhindert wird. Die Irritationen sind für den Patienten bei Verwendung der handelsüblichen 0,1 %-igen Lösung innerhalb weniger Stunden reversibel. Mit bleibenden Geschmacksstörungen ist deshalb nicht zu rechnen (5).

#### Veränderungen der Mundschleimhaut

Die für den Patienten beunruhigendsten Nebenwirkungen einer Chlorhexidin-Therapie sind wohl die Veränderungen der Mundschleimhaut (18, 19, 21, 27, 28, 33).

Einige Stunden nach der Anwendung des Medikaments zeigen sich Epithelveränderungen, die von aphtoiden Läsionen bis hin zu flächenhaften Epithelabschilferungen reichen, je nach Expositionsdauer, Konzentration des Wirkstoffes und persönlicher Disposition (66). Man findet stark gerötete Bezirke, die von den Zellschichten des Stratum superficiale entblößt scheinen, neben Gebieten, in denen die stärker keratinisierten Zellschichten zusammengeschoben sind. Diese Läsionen werden von einem brennenden Schmerz begleitet, der durch Berührung oder Kontakt mit scharfen Speisen wie Essig, Obst oder ähnlichem verstärkt wird. In manchen Fällen tritt ein Brennen der Mundschleimhaut ohne sichtbare Veränderungen der Mukosa auf (5). Die beschriebenen Epithelschäden kommen vor allem bei Langzeitbehandlung, seltener bei einmaliger Anwendung vor.

HEIDEMANN (28) beschreibt sogar einen Fall von massiver Wundheilungsstörung post operationem, den er auf eine allergische Überempfindlichkeitsreaktion des Patienten auf Chlorhexidin zurückführte. In früheren Versuchen konnte HEIDEMANN et al. (27) nachweisen, daß Chlorhexidin in vitro gezüchtetes humanes Gingivaepithel zu schädigen in der Lage ist. Vor dem Hintergrund der beschriebenen zytotoxischen Effekte erscheint eine Zurückhaltung bei der Anwendung von Chlorhexidin zur Nachbehandlung parodontalchirurgischer Eingriffe angebracht, obwohl Hinweise bestehen, daß es in Verbindung

mit Zahnfleischverbänden zu einer Heilungsbeschleunigung kommt (erwähnt bei 5).

Eine Behandlung der beschriebenen Mundschleimhautveränderungen ist in der Regel nicht erforderlich. Nach Absetzen des Medikaments heilen die betroffenen Bezirke spontan ab (5).

### Parotis

In sehr seltenen Fällen kam es bei der Chlorhexidin-Anwendung zu Entzündungen der Glandula parotis, was sich klinisch durch eine reversible Schwellung der Drüse manifestierte (58).

Über die Äthiologie lassen sich nur Spekulationen anstellen. Man sollte aber auch an die Möglichkeit denken, daß es sich um ein zufällig zeitliches Zusammentreffen ohne kausale Verknüpfung handeln könnte.

### 3. FARBDETEKTOREN ZUR PLAQUEERKENNUNG

Für die Äthiologie der Karies und auch der Parodontopathien spielt die Belagbildung auf den Zähnen und der Gigiva eine eminente Rolle. Durch zahlreiche epidemiologische Untersuchungen sowie die experimentelle Karies- und Gingivitis-erzeugung im Tierversuch ist der Zusammenhang zwischen einer mangelhaften Mundhygiene und der Entstehung von Karies und Parodontopathien eindeutig bewiesen worden. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Plaques, also jene Beläge, die auch noch nach intensiver Sprayanwendung an den Zahnoberflächen haften bleiben. Ihre gründliche Beseitigung bzw. die Verhinderung ihrer Entstehung ist eine der wichtigsten prophylaktischen Maßnahmen in der Zahnheilkunde.

Daher sind in der vergangenen Zeit große Anstrengungen unternommen worden, Hilfsmittel zu entwickeln, die eine objektive Erkennung der dentalen Plaque ermöglichen.

In diesem Sinne ist die Anwendung von Farbstofflösungen, den sogenannten Disclosants oder Plaquerelevatoren, zur Sichtbarmachung der Beläge einerseits eine Maßnahme mit erzieherischem Effekt für den Probanden, andererseits aber auch eine Grundlage für wissenschaftliche Auswertungen. Bereits 1914 wurde von SKINNER der Gebrauch von Jodlösungen beschrieben, um dem Patienten die Mangelhaftigkeit seiner Mundhygiene zu demonstrieren.

#### 3.1. Applikationsformen

Es sind derzeit 2 Formen der Applikation zu unterscheiden:

1. die Farbstofflösung
2. die Färbetablette.

Wird nur der erzieherische Effekt angestrebt, so genügt die Alternativfeststellung, ob Beläge nach dem Zähneputzen vorhanden sind oder nicht. In diesem Fall ist die Färbetablette die für den Patienten bequemste und einfachste Applikationsform.

Die Tablette wird zerbissen und der Farbstoff danach mit der Zunge an den Zahnreihen entlang verteilt. Der Patient kann das Ergebnis anschließend im Spiegel selbst betrachten. Für epidemiologische Untersuchungen sowie für die Messung des unterschiedlichen Effektes verschiedener Reinigungsmethoden und -mittel ist aber eine objektive quantitative Einschätzung des Ausmaßes der Beläge erforderlich. Hier bietet die Farbstofflösung bekannter Konzentration, durch den Zahnarzt mit einem Wattetupfer gleichmäßig appliziert, die erforderliche Genauigkeit in der Verteilung.

Während den Jodlösungen und Bismarck-Braun nur mehr historische Bedeutung zukommt, wird die basische Fuchsinlösung trotz einiger Bedenken im Rahmen epidemiologischer Untersuchungen noch häufig angewendet. Da bei der Anwendung dieser Lösung, die als Standardrezeptur "Solutio Rosanilini chlorati SR 75" zu beziehen war, ein kanzerogener Effekt nicht ausgeschlossen werden konnte, wird unter anderem von LANGE (34) für den Routinegebrauch das indifferente Erythrosin (rot) empfohlen.

Es stehen daneben noch einige andere unbedenkliche Substanzen zur Verfügung:

Patentblau V (blau)

FDC Blaulösung FarbNo. 325/66 (blau)

Proflavin (gelb)

Tartrazin (grün)

Malachitgrün (grün)

Natriumfluoreszin (blau-violett)

Natriumfluoreszin ruft keine sichtbaren Verfärbungen hervor, sondern tritt erst bei Einwirkung von UV-Licht in Erscheinung. Die Hersteller von Plaquerelevatoren haben freie Auswahl in dieser Farbpalette, manche verwenden sogar zweifarbige Indikatoren, allerdings greift die Mehrzahl auf Erythrosin zurück. Auch wir haben uns bei der Auswahl des Farbindikators für das intensiv rot färbende Erythrosin entschieden, gestützt auf eine Untersuchung von FESSELER und POKSAWAD (17), die von 3 verschiedenen Indices eine 2 %-ige Erythrosin-Lösung als den zuverlässigsten Plaque-Indikator ermittelten.

### 3.2. Erythrosin

Etwa seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist Erythrosin als Farbstoff bekannt.

Seine chemische Struktur wurde zum ersten Mal von HOLMES und SCANLAN 1927 ausführlich beschrieben. In der Allgemeinmedizin dient es auch als Gallenblasen-Röntgenkontrastmittel, in der Nahrungsmittelherstellung ist es als Lebensmittelfarbstoff gebräuchlich, und in der Dentalmedizin wird es in unterschiedlicher Form zur Sichtbarmachung mikrobieller Plaque verwendet.

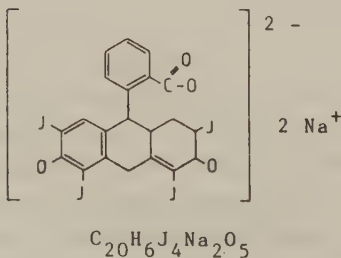
"Erythrosin ist ein Farbstoff, der im wesentlichen aus dem Monohydrat 2,4,5,7-tetrajodfluorescein-disodium-Salz besteht, mit einigen Anteilen niedrig jodierter Fluoreszenzen. Es enthält nicht weniger als 87 % Farbstoff, berechnet auf  $C_{20}H_6J_4Na_2O_5 \cdot H_2O$ , und es entspricht den Vorschriften der Vereinigten Lebensmittel- und Arzneimittel-Verwaltung hinsichtlich bestimmter Farben." (USP XX)

Der pH-Wert von Erythrosin liegt zwischen 6,8 und 8,0.

Synonyme: Dinatrium 2-(2,4,5,7-tetrajod-6-oxido-3-oxo-3H-xanthen-9-yl)benzoat (IUP)

Erythrosine sodium (USP XX)

2,4,5,7-Tetrajodfluoreszein, Dinatrium-Salz



#### 4. FRONTZAHNFÜLLUNGSMATERIALIEN

Spezifische Ansprüche der Kunststofftechnik sind ihre Adaption an die optischen Bedingungen des Zahnschmelzes (Farbe, Opaleszenz) und an sein Strukturmuster (Adhäsion). Dazu kommen rationelle Verarbeitung und Applikation, aber auch problemlose Exkorporation. Zu den wesentlichsten Schwachstellen der Füllungskunststoffe, die ihren Einsatz limitieren, gehören:

1. physiologische Noxen (Pulpenreizung)
2. mangelnde Form- und Volumenkonstanz (Wasserabsorption, Spaltbildung)
3. mangelnde mechanisch-physikalische Qualitäten (insbesondere im Hinblick auf Druckfestigkeit, Elastizitätsmodul, Eindruckhärte, Abrasionsfestigkeit und Verfärbung).

Obwohl von den Herstellern ständig an der Weiterentwicklung der Füllungskunststoffe gearbeitet wird, steht man derzeit erst auf der Stufe der mikrogefüllten und hochglanzpolierbaren Composites (44).

##### 4.1. Polymerisationssysteme

Für die Polymerisation von Composit-Füllungsmaterialien sind freie Radikale zur Aktivierung der Monomere erforderlich. Bei der c h e m i s c h e n H ä r t u n g bilden sich diese in der Regel aus der Reaktion von Peroxyden mit aromatischen tertiären Aminen. Der bei höheren Lagertemperaturen beschränkt stabile Polymerisationsinitiator, zum Beispiel Dibenzoylperoxyd, und der Accelerator, zum Beispiel N,N-dihydroxyäthylparatoluidin, sind dabei getrennt, in meist pastenförmigen Zubereitungen enthalten. Durch Vermischung dieser 2 Komponenten in einem geeigneten Mengenverhältnis, im Normalfall 1:1, wird die Polymerisation eingeleitet.

Bei der U V - P o l y m e r i s a t i o n bilden sich Startradikale durch Einwirkung von ultravioletem Licht Typ A mit einer Wellenlänge  $\lambda = 320 - 400 \text{ nm}$  auf eine spezifisch UV-Licht-empfindliche Substanz. Dieser sogenannte Photoinitia-

tor, meist ein Benzoinalkyläther, wird dadurch aktiviert und bildet in Anwesenheit von Aminen freie Radikale, die die Startreaktion für die Polymerisation induzieren.

Bei der Weißlicht - Polymerisation wird Licht verwendet, dessen Wellenlänge im sichtbaren Spektralbereich liegt. Dabei basiert das Katalysatorsystem auf einem Weißlicht-empfindlichen Photoinitiator, zum Beispiel ein  $\alpha$ -Diketon und wiederum Aminen. Unter der Einstrahlung von sichtbarem Licht der Wellenlänge 440 - 480 nm absorbiert der Photoinitiator Energie und setzt Elektronen frei. Durch Wechselwirkung mit dem "Co-Katalysator" Amin werden freie, die Polymerisation einleitende Radikale gebildet (56). Unter Verarbeitungsbreite wird bei selbsthärtenden 2-Komponenten-Systemen jene Zeitspanne verstanden, die zum Anmischen und Verarbeiten eines Versieglers oder Composites zur Verfügung steht. Sie beginnt mit dem Anmischen, womit die im Ablauf nicht mehr steuerbare Härtung zwangsläufig eingeleitet wird, und endet mit Erreichen des Gelpunktes, das heißt, jenem Augenblick, in dem die ursprünglich zähflüssige organische Matrix plastisch wird und eine Gel-artige Konsistenz annimmt (56).

Es ist wichtig, die Verarbeitungszeit eines Produktes zu kennen: Die Qualität einer Füllung wird wesentlich beeinträchtigt, falls über diese Zeitspanne hinaus am frisch applizierten Material manipuliert wird. Unter Praxisbedingungen gilt eine Verarbeitungsbreite von 110 bis 160 Sekunden als ideal, von RÜMANN und LUTZ werden als Minimum 90, als Maximum 200 Sekunden genannt (56). Das Füllen komplizierter und schwer zugänglicher Kavitäten ist unter Umständen innerhalb dieser Zeitspanne nicht zu bewältigen, vor allem weil die Klebrigkeit des Composites eine rasche Insertion erschwert. Zudem ist es üblich, eine Kavität mit einer einzigen Composit-Probe bestimmter Farbe und Opazität zu füllen, die technischen Möglichkeiten bezüglich ästhetischer Perfektion sind deshalb limitiert (56).

Bei UV-Licht-härtenden Materialien ist die Verarbeitungsbreite um einiges größer, die Polymerisation setzt bei UV-Be-strahlung (auch Sonnenlicht!) ein. Allerdings erlaubt die

portionenweise Applikation und Härtung auf naturähnliche, farbliche und reflektionsoptische Nuancen innerhalb derselben Restauration einzugehen.

Bei Weißlicht-härtenden Materialien ist die Verarbeitungsbreite unter Praxisbedingungen, sofern man gewisse Regeln beachtet, ebenfalls sehr groß, so daß perfekte, unsichtbare Restaurationen nahezu ohne Zeitdruck aufgebaut werden können. Zu beachten bleibt immerhin, daß lichthärtende Diakrylate unter direkter, intensiver Sonnenbestrahlung innerhalb von 10 bis 15 Sekunden zu gelieren beginnen. Ebenso induzieren intensive, unüblich nahe ans Geschehen positionierte Praxisleuchten relativ rasch eine Härtung (56).

Bei den selbsthärtenden Diakrylaten wird die Zeitspanne zwischen Beginn des Anmischens und primärer Erhärtung des Füllungsmaterials als Härtingszeit bezeichnet. Sie beträgt unter Standardbedingungen im Maximum 5-6 Minuten, in vivo, insbesondere bei kleinen Füllungen und dünnen Beschichtungen mit einer relativ großen Oberfläche, bis zu 10 und mehr Minuten. Die Druckfestigkeit in Abhängigkeit von der Zeit nach Eintritt der Erhärtung beträgt bei Autopolymerisaten nach 15 Minuten rund 50-60 % des Endwertes, nach 60 Minuten rund 80-85 %. Ein definitives Ausarbeiten von frisch gelegten Füllungen, insbesondere von adhäsiven Restaurationen mit dünnen, verletzlichen Federrändern ist deshalb in der gleichen Sitzung nicht möglich (38, 56).

Gegenüber Autopolymerisaten deutlich erhöht ist jedoch bei UV-Sealern und -Composites die Erhärtungsgeschwindigkeit; ein definitives Ausarbeiten von frisch gelegten Füllungen ist daher durchaus statthaft (38, 56).

Beim Polymerisationsvorgang der lichthärtenden Füllungsmaterialien entsteht durch die Einwirkung des Luftsauerstoffs auf die oberste Kunststoff-Schicht ein dünner, weichbleibender und zäh abwischbarer Film an der Oberfläche der Füllung, die sogenannte "D i s p e r s i o n s s c h i c h t".

Diese diffuse Schicht lagert dem erhärteten Material lose haftend auf und kann sogar durch eine mattglänzende Reflektion die Notwendigkeit des Nacharbeitens vergessen lassen. Erst die Überprüfung mit dem Instrument oder einem Watte-

pellet läßt die Imperfektion der Oberfläche erkennen.

Alle von uns in diesem Versuch verwendeten lichthärtenden Kunststoffe wiesen diese Dispersionsschicht auf, allerdings hat keiner der Hersteller in seinen Produktbeschreibungen und Verarbeitungshinweisen auf diese Unzulänglichkeit und die daraus zwingend notwendige Oberflächennachbehandlung bzw. Politur hingewiesen.

#### 4.2. Anorganische und organische Füllkörper

Beinahe alle Composites sind aus zwei Hauptbestandteilen zusammengesetzt, einer Kunststoff-Matrix (nach der Bowen-Formel oder einer Modifikation davon) und anorganischen Füllkörpern. Der hohe Anteil dieser Füllkörper (bis etwa 80 Vol. %), in Form von keramischem Pulver, Glaskugeln, Quarzsplittern oder Borosilikaten etc., verleiht den Composite-Kunstharzen verschiedene vorteilhafte Eigenschaften:

1. Verbesserung der Abrasionsresistenz
2. höhere Druckfestigkeit und Härte
3. verminderte Abbindekontraktion
4. einen günstigeren thermischen Expansionskoeffizienten.

Die beiden von ihrer Struktur und Zusammensetzung her voneinander völlig differierenden Komponenten ergeben eine Dishomogenität des Füllungsmaterials, die an den Oberflächen und im Randspaltbereich der Kavität deutlich zum Ausdruck kommt (9). Die glasharten Füllkörper verhalten sich in ihrer Abrasionsbereitschaft bei jeglichem Schleif- und Poliervorgang unterschiedlich gegenüber der relativ weichen Kunststoffmasse, in die sie eingebettet sind.

Liegt nun die Körnung des Schleifmittels um den Faktor 5-10 unter der Füllkörpergröße, so ist bei der festgestellten Füllstoffdichte der Abrieb der Füllkörper als geschwindigkeitsbestimmender Schritt der Abrasion anzusehen. Dies gilt nicht mehr, sobald die Körnung des Schleifmittels in die Größenordnung jener der Füllstoffe kommt. Hierbei können ganze Füllkörper herausbrechen (54).

So ist bei einer Bearbeitung dieser Struktur bestenfalls ein Schleifen möglich, nicht aber eine Verfeinerung der Oberfläche, wie wir dies von der Politur von Metallen und homogenen Füllungsmaterialien her kennen (9).

Wird aber eine Füllungs Oberfläche nicht fein poliert, so ist sie durch ihre Vergrößerung und Rauigkeit besonders anfällig für die Anlagerung von Plaque, was wiederum die Entzündungsbereitschaft der Gingiva fördert und der Bildung von Sekundärkaries Vorschub leistet. Durch die unpolierte Oberfläche wird zudem die Abrasion und die Desintegration begünstigt.

Die Füllstoffe demnach mit dem Kunststoff zu verbinden, war ein wichtiges Ziel in der Entwicklung der Füllungskunststoffe. Es ergab sich eine Kombination von anorganischen Füllstoffen über einen chemischen Verbund, der durch Imprägnierung der Füllpartikel mit organischen Siliziumverbindungen, Silanen, zum Beispiel 3-Methakryloxypropyl-Trimethoxysilan, erfolgt (44).

Composites kommen unter Gefügeaspekten somit der Modellsubstanz "Zahnhartgewebe" recht nahe: Im Hinblick auf die Füllstoffproportionen (60-80 %) entsprechen sie der Zusammensetzung des Dentins, im Hinblick auf die Partikelgröße (0,8-8  $\mu\text{m}$  als untere, 3-30  $\mu\text{m}$  als obere Grenze) liegen sie an bzw. über der Längendimension der Schmelzkristalle. Durch die molekulare Einbindung des Füllstoffs in die Kunststoff-Matrix wurde auch die Abrasionsfestigkeit dieser Composites erhöht (44).

Gelegentlich wurden auch Füllstoffe in der Größenordnung  $< 1 \mu\text{m}$  zugesetzt (Aerosil, in etwa 5 %), um die Monomerflüssigkeit zu verdicken und das Sedimentieren der größeren Füllstoffpartikel zu vermeiden. So vorteilhaft sich die Feinfraktion auch im Hinblick auf die Polierbarkeit auswirkte, zeigte sich doch eine Grenze der Partikelverfeinerung durch die schlechte Transparenz und durch den ungleichmäßigen Abrieb dieser Composites; wenn die Füllstoffpartikel kleiner als 0,7  $\mu\text{m}$  sind, nimmt die Transparenz unvermittelt ab (44). Wie vorstehend erwähnt, lassen sich Composites mit Füllstoffen in den technisch verwendeten Dimensionen von

etwa 1-30  $\mu\text{m}$  aber nicht polieren, sondern bestenfalls glätten (38, 44). Unter Verwendung von höhermolekularen Kunststoff-Monomeren ergab sich die Feststellung, daß sowohl eine bedeutende Verbesserung der mechanischen Eigenschaften als auch eine Zunahme der Transparenz eintritt, wenn zu 100 % die anorganischen Partikel in der gleichmäßigen Teilchengröße der Feinfraktion 0,5  $\mu\text{m}$ , und  $\text{SiO}_2$  von 0,01 bis 0,4  $\mu\text{m}$  eingesetzt werden. Dieser Kieselsäurefeinstaub entsteht durch Pyrolyse von Silan und Siloxanen (Aerosil) (44).

Der mikrofeine Füllstoff verdickt die Monomerflüssigkeit des Composites allerdings beträchtlich: Nach Stehenlassen tritt der thixotrope Zustand auf - Verflüssigung erfolgt wieder beim Umrühren. Es wird diesem Composite-Typ daher etwas weniger von der anorganischen Komponente zugesetzt, gewichtsmäßig 40-75 %, bezogen auf das Gesamtgewicht des Werkstoffs, und zwar in der Flüssigkeit und in den Polymer-Pulverteilchen (die in diesem Material wieder konstitutionell enthalten sind); insofern wird gelegentlich mit einem "organischen Füllstoff" argumentiert - rein phänomenologisch ist dies sicherlich richtig, für den ausgehärteten Verbund allerdings ohne Bedeutung (44).

#### 4.3. Polierbarkeit

Diese neuen Materialien sind nun hochglanzpolierbar, die großen Unterschiede von Matrix und Füller sowie die mangelhafte Verbindung zwischen organischer und anorganischer Komponente nahezu beseitigt (54). Bei den neuen Füllungsmaterialien liegt die Körnung der Füller um mehrere Zehnerpotenzen unter der der benutzten Schleifmittel. So werden keine Füllkörper mehr beim Schleifen aus der Oberfläche gerissen (44).

Die beim Ausarbeiten der Füllung erzielte Oberflächenglätte ist zudem von Dauer (54).

#### 4.4. Biegebruchfestigkeit

Eine Untersuchung ergab allerdings (54), daß die Werkstoffe mit besserer Polierbarkeit eine zwischen 25 und 40 % geringere Biegebruchfestigkeit gegenüber herkömmlichen Composites aufweisen. Da Kunststoffe die Eigenschaft haben zu fließen, sind Härtemeßverfahren nach BRINELL, VICKERS oder KNOOP nicht ohne weiteres für Kunststoffe anwendbar. Daher werden für die Kunststoffe statt dessen bevorzugt Biegeprüfungen angewendet (67).

Die hochglanzpolierbaren Werkstoffe übertreffen dennoch die in der "ISO/DIS 4049" bzw. "DIN 13922" genannte Mindestforderung von 50 N bzw. 5 N Belastungszunahme pro Minute.

#### 4.5. Porenbildung

Der Qualität von Composite-Füllungen abträglich sind die bei autopolymerisierenden 2-Komponenten-Systemen stets reichlich vorhandenen Poren. Sie beeinträchtigen die physikalischen Materialeigenschaften erheblich; klinisch sind sie unter anderem für die nach wie vor ungenügende Verschleißfestigkeit der Composites sowie vor allem für die Verfärbungstendenz verantwortlich (56). Einfache, klinisch brauchbare Verfahren, die die Porendichte bei frisch gelegten Composite-Restorationen aus chemisch härtenden Systemen erheblich vermindern, sind bis heute nicht bekannt: Porenfreiheit ist nur mit UV- oder Weißlicht-härtenden Ein-Komponenten-Systemen, die nicht angemischt werden müssen, zu erzielen (38, 56).

#### 4.6. Wasseraufnahme und Volumenverhalten (Spaltbildung)

Die Wasseraufnahme der Kunststoffe ist eine an sich unerwünschte Eigenschaft (37).

Da jedoch alle Kunststoffe beim Polymerisieren schrumpfen und damit zur Spaltbildung neigen, ist durch die Wasseraufnahme der frisch gelegten Füllung eine Ausgleichmöglichkeit

für die Polymerisationsschrumpfung gegeben (37, 67).

Nach Auskunft der Hersteller ist die Wasseraufnahme ein fest einkalkulierter und genau berechneter Faktor zum Ausgleich dieser Schrumpfung, da es keine Möglichkeit gibt, diese nachteilige Eigenschaft der Kunststoffe zu beseitigen.

Außer "reinem  $H_2O$ " dürften unserer Ansicht nach mittels einer Art "solvent drag" auch niedermolekulare Partikel aus der Mundhöhle mit dem Speichel in die Füllung gelangen.

Die wesentliche Wassermenge wird in den ersten 24 Stunden aufgenommen. Die Menge des aufgenommenen Wassers nach 24 Stunden ist mehr von der Gesamtmasse als von der Größe der Oberfläche der Füllung abhängig (67).

Da sich mit dem Zufügen von Füllstoffen bei den Composites die Dichte fast verdoppeln kann, ist die Aufnahme des gleichen Volumens Wasser beim Composite gewichtmäßig nur noch die Hälfte im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen. Es ist ersichtlich, daß die Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten bei den Composites zu einer Abweichung bis etwa 40 % gegenüber dem tatsächlich aufgenommenen Wasservolumen führt. Da der Zahnarzt Kavitäten mit einem bestimmten Volumen und nicht nach Gewicht ausfüllt, um die ursprüngliche Form wieder herzustellen, waren Angaben der Wasseraufnahme in Gewichtsprozent zumindest irreführend (67). Die Wasseraufnahme wird nunmehr von den Herstellern nach ADA Spec.No. 27 in  $mgH_2O/cm^2$  Füllmaterial bezogen auf 1 mm Schichtdicke angegeben, wiederum eine Größe, die nicht unbedingt praxisbezogen erscheint.

Bei allen Fortschritten der Werkstoffentwicklung ist ein weiterer Schwachpunkt sämtlicher Füllungsmaterialien noch nicht gelöst: das Unvermögen, einen dichten Abschluß des Kavitätenrandes zu gewährleisten. Alle Kunststoff-Füllungen werden nur durch mechanische Retention zur präparierten Kavitätenwand gehalten. Auch die Ätztechniken vermögen lediglich mechanische Mikroretentionen zu schaffen und müssen zudem Säuren oxen in ihre Bilanz aufnehmen (44).

Die Weiterentwicklung der Kunststoff-Füllungstechnik wird daher von der weiteren Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Grenzflächen-Chemie abhängen, d.h. die Aufrich-

tung chemischer Bindungen zwischen Füllung und Zahngewebe voraussetzen muß. Die Adhäsionsfunktionen sind verschieden, je nachdem, ob Schmelz oder Dentin - mit völlig verschiedener Gefügezusammensetzung - als Reaktionspartner gegenübersteht; zudem ist die präparierte Kavität mit gelockerten Präparationsresten, Trümmaterialien, sogenannten "Debris" bedeckt, die durch Spülen schlecht entfernt werden können. Obwohl diese Partikel benetzbar sind und einzementiert werden, sind sie doch "*loci minoris resistentiae*" und Anlaß für Fehlstellen (z.B. Luftblasen) (44).

Die Spaltbildung kann aber auch durch einen anderen Faktor ausgelöst werden: Durch zu frühen Speichelzutritt kann die Polymerisation so gestört werden, daß anschließend im gesamten Randbereich der Kunststoff gelöst und weggeschwemmt wird.

Füllungskunststoffe sind extrem feuchtigkeitsempfindlich und müssen daher unbedingt sachgerecht verarbeitet werden (67). In der Dissertation von LUTHER (37) wurde 1977 eine signifikante Abhängigkeit der Oberflächenhärte vom Feuchtigkeitszutritt bewiesen. Die Ergebnisse machten deutlich, daß die verschiedenen Kunststoffe ihre maximale Härte zwischen 40 Minuten und 12 Stunden vor Wasserzutritt erreichten. Frühzeitig benetzte Proben erreichten nur etwa 80 % der Endhärte trockener Proben. In einer Arbeit von GRESCII (22) 1976 wurde ebenfalls aufgezeigt, daß feuchte Proben von Kunststoffen eine geringere Härte erreichen als die entsprechenden ohne Feuchtigkeitszutritt ausgehärteten Proben. Wie weit hier jedoch die Oberflächenhärte durch Beeinträchtigung der Polymerisation oder aber durch Wasseraufnahme und Quellung vermindert wird, ließ sich nicht eindeutig beantworten.

Allerdings konnte VAHL (65) in seiner Untersuchung 1983 keinen signifikanten Einfluß auf Biegebruchfestigkeit und Elastizitätsmodul von 9 Composite-Materialien durch vorzeitigen Wasserzutritt mehr feststellen. Er schreibt dies der Weiterentwicklung der Dentalwerkstoffe in den letzten Jahren zu. Dies soll aber nicht heißen, daß in Zukunft der Speichelzufluß bei einer in vivo gelegten Füllung keine Rolle mehr

spielt - die Randständigkeit bei frühzeitigem Feuchtigkeitszutritt wird in jedem Fall beeinträchtigt.

#### 4.7. Farbbeständigkeit und Substanzverlust

Farbveränderungen können verursacht werden durch Ablagerung von exogenen Materialien auf der Füllungsoberfläche oder aber durch Verfärbungen des Füllungsmaterials selbst.

Die Einwirkung von bestimmten Nahrungs- und Genußmitteln wie zum Beispiel Nikotin, Rotwein, Kaffee und Tee auf Füllungsoberflächen von Composite-Materialien, insbesondere wenn sie schlecht poliert sind, ist hinreichend bekannt.

Mit dem Füllungsalter zunehmende Verfärbungen des Composite-Materials selbst wurden schon in mehreren Studien beobachtet (23, 55). Ob dabei das Licht oder andere Faktoren als Ursache betrachtet werden müssen, kann noch nicht mit Sicherheit beantwortet werden (23).

Farbveränderungen können schließlich auch noch in Form von Randverfärbungen auftreten, die eine Folge ungenügenden Randschlusses des Materials sind. Die sich im Randspalt ablagernde Plaque führt nicht nur zur Sekundärkaries, sondern auch zu einer sich alsbald einstellenden Randverfärbung.

In einer von HAMMER und HOTZ 1979 durchgeführten Untersuchung (23) wurden beobachtete Farbveränderungen etwa zur Hälfte exogen taxiert, da auch auf anderen Zahnflächen Verfärbungen vorhanden waren. In vielen Fällen konnte starker Tabakgenuß als Ursache erkannt werden.

Insgesamt wurde bei 365 von 461 Composite-Füllungen 79,2 % die Farbe bei der Nachkontrolle nach 1 bis 5 Jahren als gut beurteilt. 96 oder 20,8 % dagegen zeigten deutliche Veränderungen, etwas mehr als die Hälfte davon (54) waren exogener Ursache (siehe Abb. 1). Eine deutliche Zunahme der Verfärbungen mit dem Alter der Füllungen war zu beobachten.

Von den 461 Composite-Füllungen zeigten 185 oder 40,1 % eine Verfärbung des Randspaltes, wobei ebenfalls eine deutliche Zunahme in Abhängigkeit vom Alter der Füllung festzustellen war. Zusätzlich sind bei Rauchern Randverfärbungen häufiger

und stärker ausgeprägt als bei Nichtrauchern (23).

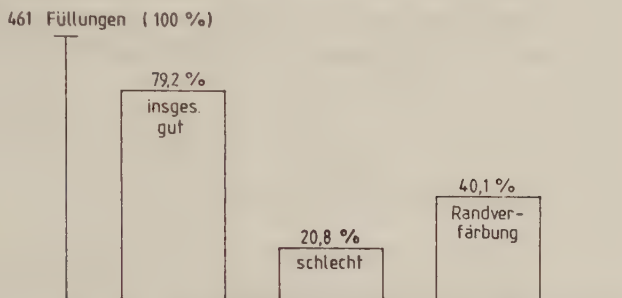


Abb. 1

Verschiedene Hersteller empfehlen unter anderem auch aus Gründen der Randspaltverminderung die Verwendung von kunststoffartigen Lacken, sogenannte "Sealer oder Glazings", die die polierte Oberfläche versiegeln. Diese flüssigen Kunstharze sind aber in der Mundhöhle nach kürzester Zeit, etwa 10 Tagen, weggescheuert und neigen zudem zu Verfärbungen der Oberflächen (9).

In der Dissertation von SCHULZE 1976 (61) wurde festgestellt, daß auch UV-Strahlungen bei Kunststoffen unterschiedliche Verfärbungen hervorrufen können, die einmal von der Strahlungs-Qualität und zum anderen von der Bestrahlungsdauer abhängig sind. Hierbei wird das gesamte Material verfärbt.

In der vorstehend erwähnten Arbeit von HAMMER und HOTZ (23) wurde auch der Substanzverlust von Kl. II-Füllungen beobachtet. Bei 91 % der Composite-Füllungen war ein Substanzverlust zu erkennen. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit anderen klinischen Untersuchungen (23, 39, 54, 55). Lediglich 9 % der Composite-Füllungen zeigten klinisch keinen Substanzverlust, es handelte sich dabei um relativ neue Füllungen, um kleine Kavitäten ohne Höckerabstützung auf dem Kunststoff oder um nicht in Okklusion stehende Füllungen. Sehr ausgeprägt war die Zunahme der Abrasionerscheinungen an den Composite-Füllungen mit der längsten Liegezeit; bei den 5-jährigen Füllungen war keine einzige mehr ohne Substanzverlust.

Bei den Klassen II und IV zeigten 83,8 % bzw. 60,7 % der Composites keinen Substanzverlust. Diese Resultate stehen

in guter Übereinstimmung mit früheren Studien (39, 63). Bei den mechanisch am wenigsten beanspruchten Klasse-V-Füllungen wurde erwartungsgemäß auch am wenigsten Substanzverlust beobachtet (23).

#### 4.8. Gewebe- und Pulpenverträglichkeit

In der Studie von HAMMER und HOTZ (23) wurde auch der Entzündungsgrad der Gingiva im Zusammenhang mit Füllungsmaterial und Lokalisation des Füllungsrandes untersucht:

Beim Vergleich der einzelnen Materialien zeigten die Composite-Füllungen sowohl bei supra- wie bei subgingivalen Füllungsrandern den höchsten Entzündungsgrad. Dabei ist aber zusätzlich zu bedenken, daß dieses Material vor allem in der Front verwendet wurde, einem Gebiet, das allgemein besser gereinigt wird als der Seitenzahnbereich.

Ein Vergleich der gingivalen Irritation subgingival gelegener Silikatzemente, Amalgam- und Kunststoff-Füllungen zeigte, daß alle diese Materialien eine chronische Entzündung des gingivalen Gewebes hervorrufen. Dabei ist die Rauigkeit von ausschlaggebender Bedeutung (23).

Der höhere Entzündungsgrad der Gingiva bei subgingivalen Füllungsrandern in dieser Studie bestätigt die Resultate aus früheren Untersuchungen (23). Auch mit guter Mundhygiene oder gut anliegenden Füllungsrandern kann diese Entzündung nicht verhindert werden. Der supragingivale Füllungsrand scheint also auch diesbezüglich von Vorteil zu sein.

Hochglanzpolierbare Composites hingegen dürften auf Grund ihrer glatteren Oberflächen zu befriedigenderen Ergebnissen führen. Von allen Herstellern wird zum Schutz der Pulpa vor thermischen und chemischen Noxen zu einer Unterfüllung geraten.

So wurden in einer Untersuchung von REINHARDT und VAHL (54) die Reaktionstemperaturen von einigen Composites gemessen - es ergaben sich Werte zwischen 37° C und 86° C(!), wobei die Temperatur primär von der Menge des zu polymerisierenden Füllungsmaterials abhängt. Diese Temperaturerhöhungen könnten

im pulpennahen Bereich zu irreversiblen Schädigungen führen. Da für die Füllung einer großen Kavität im pulpennahen Bereich zwangsläufig auch größere Mengen Füllungsmaterial notwendig sind, ist gerade hier eine ausgedehnte Unterfüllung zur thermischen Isolierung der Pulpa zwingend erforderlich. Das Füllungsmaterial selbst stellt für die Pulpa eine chemische Noxe dar (38, 44, 57).

Gerade bei den 2-Komponenten-Kunststoffen kommt es nach der Polymerisationsreaktion oft zu einem erhöhten Restmonomergehalt des eingebrachten Füllungsmaterials, da beim Anmischen ein exaktes Verhältnis der Reaktionspartner Monomer/Polymer selten erreicht werden kann. Mit der hohen Wasseraufnahme der Composite-Materialien gelangen besonders Boranteile und Peroxide in die Dentinkanälchen, wenn auf eine Unterfüllung verzichtet wurde, und werden durch einen "Pumpeffekt" während der Druckbelastung der Füllung beim Kauvorgang in Pulpennähe gepreßt (38, 44, 57).

Die so ausgelöste Pulpenirritation durch das gewebsschädigende freie Monomer führt in vielen Fällen zum Absterben der Pulpa..

Auch die Ein-Komponenten-Kunststoffe weisen einen Restmonomergehalt auf, da das Material niemals gleichmäßig auspolymerisiert. Auf Grund genauer Konzentrationsverhältnisse beim Herstellungsvorgang ist dieser Restmonomergehalt weitaus geringer als bei den 2-Komponenten-Kunststoffen.

Zum Schutz der Pulpa ist deshalb eine nicht resorbierbare Unterfüllung, zum Beispiel aus Phosphat-Zement, notwendig.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Präparate erfüllen diese Bedingung nicht, da sie nach einiger Zeit resorbiert werden und so toxische Bestandteile in Pulpennähe gelangen können (57).

## 5. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

### 5.1. Materialauswahl und -vorstellung

Der Materialauswahl liegen folgende Kriterien zugrunde:

1. hochglanzpolierbare Composites mit Mikrofüllung
2. die Verkaufsstatistik mehrerer großer Dentaldepots in Süddeutschland.

Somit ergaben sich die nachfolgenden Füllungsmaterialien für den Test, die angeführten Eigenschaften in der Materialvorstellung entnehmen wir den Herstellerangaben.

#### Lichthärtende Füllungsmaterialien

- DURAFILL (hochglanzpolierbares Composite auf Mikrofill-Basis)

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Hersteller:                        | Kulzer                 |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 50 %/gesamt 75 %       |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 1,5 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 750 kp/cm <sup>2</sup> |
| Farbe:                             | U                      |

- HELIOSIT (hochglanzpolierbares Füllungsmaterial auf Isosit-Basis)

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Hersteller:                        | Vivadent                 |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 60 %                     |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | > 6,0 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 1000 kp/cm <sup>2</sup>  |
| Farbe:                             | 22                       |

- PRISMA-FIL (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Hersteller:                        | Caulk                  |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 76 %                   |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 0,7 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 750 kp/cm <sup>2</sup> |
| Farbe:                             | LY                     |

- SILUX (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Hersteller:                        | 3-M-Company            |
| Füllkörper anorganisch:            | 51 %                   |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 1,5 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 650 kp/cm <sup>2</sup> |
| Farbe:                             | U                      |

- VISIO-DISPERS (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Hersteller:                        | Espe                    |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 66 %                    |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 0,39 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 800 kp/cm <sup>2</sup>  |
| Farbe:                             | standard                |

- VISIO-FIL (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Hersteller:                        | Espe                    |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 80 %                    |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 0,15 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 900 kp/cm <sup>2</sup>  |
| Farbe:                             | standard                |

Autopolymerisierende Füllungsmaterialien

- ADAPTIC ("zahnglänzend"-polierbares Composite)

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Hersteller:                        | Johnson&Johnson         |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 78 %                    |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 1000 kp/cm <sup>2</sup> |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 0,65 mg/cm <sup>2</sup> |
| Farbe:                             | universal               |

- ISOPAST PASTE-PASTE (hochglanzpol. Füllungsmat. a. Isosit-Basis)

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Hersteller:                        | Vivadent                 |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 60 %                     |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | > 6,0 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 1000 kp/cm <sup>2</sup>  |
| Farbe:                             | 22                       |

- MFR-MERZ PASTE-PASTE (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Hersteller:                        | Merz & Co.              |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 83 %                    |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 1,27 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 850 kp/cm <sup>2</sup>  |
| Farbe:                             | U                       |

- NINETIC-DISPERS (hochglanzpolierbares Composite)

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Hersteller:                        | Espe                   |
| Füllkörperanteil anorganisch:      | 60 %                   |
| Wasseraufnahme nach ADA Spe.Nr.27: | 0,4 mg/cm <sup>2</sup> |
| Biegefestigkeit nach DIN 13922:    | 800 kp/cm <sup>2</sup> |
| Farbe:                             | standard               |

5.2. Herstellung der Prüfkörper

Das von uns angewendete Meßverfahren erforderte einen Minstdurchmesser der Prüfkörper von 12 mm , als ideale Schichtdicke zur optimalen Farbgebung wurde eine Stärke von 2 mm angenommen. Eine Spezialfirma für Dichtungen war beauftragt worden, Ringe mit einem Innendurchmesser von 13 mm und einer Stärke von 2 mm aus einem chemisch beständigen weißen Gummimaterial herzustellen.

Diese Gummiringe wurden auf eine Glasplatte aufgelegt, der Füllungskunststoff in den Innenraum des Rings eingebracht, eine weitere Glasplatte als Deckel oben aufgepreßt und anschließend wurde das Füllungsmaterial mit den entsprechenden Lichtquellen beidseitig ausgiebig bestrahlt. Die Herstellung der autopolymerisierenden Probenkörper erfolgte nach demselben Prinzip, allerdings ohne Lichtquelle.

Nach der Aushärtung der Materialien, der Abnahme der Glasplatten und des Gummirings lagen scheibenförmige Kunststoffkörper vor, die sowohl über eine gleichmäßige Schichtdicke von 2 mm als auch über beidseitig glasartig glatte Oberflächen verfügten. Durch entsprechend sorgfältiges Einbringen des Materials ohne Zeitdruck konnten bei den lighthärtenden Kunststoffen nahezu porenfreie Prüfkörper entstehen.

Bei den Autopolymerisaten haben wir jeweils die Prüfkörper einer Vergleichsmessung, also 3 Stück, mit einem Anmischvorgang auf einmal hergestellt, um einen Farbunterschied durch sonst unterschiedliche Dosierung von Paste und Katalysator zu vermeiden. Es ließen sich zwar bei allen 2-Komponenten-Kunststoffen eine glatte Oberfläche, nicht aber Porenfreiheit, insbesondere bei Adaptic, erzielen. Prüfkörper mit

großen Einschlüssen wurden verworfen.

Die Kunststoffscheibchen wurden sofort nach ihrer Aushärtung in einem lichtundurchlässigen Behältnis verwahrt, um einer durch Lichteinwirkung eventuell hervorgerufenen Verfärbung vorzubeugen (61).

Bei allen Herstellungsvorgängen und bei der Versuchsdurchführung wurde streng darauf geachtet, daß alle Proben etwa der gleichen Lichteinwirkung ausgesetzt waren. Etwaige Farbveränderungen aus diesem Grund waren somit gleichmäßig auf alle Proben verteilt.

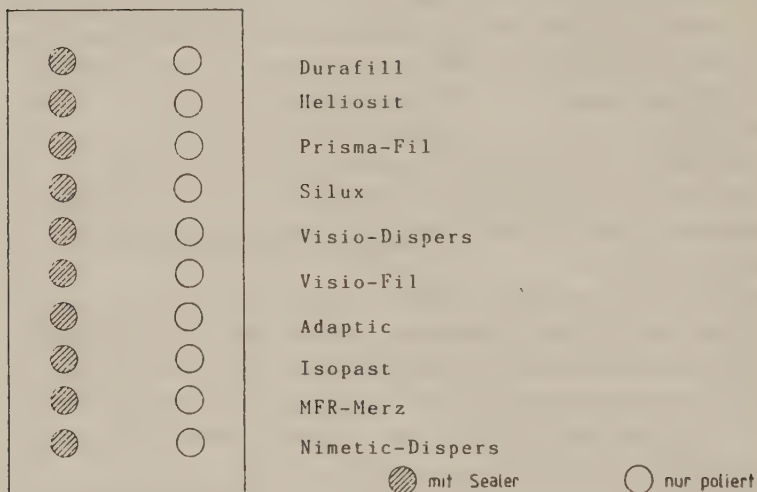
Von jedem Füllungskunststoff wurden 6 Prüfkörper hergestellt, die mit Mooreplastic-Scheiben (Ausführung: Sand / Körnung: X-fein) vorbehandelt und anschließend mit einem Nordenta-Microspezialpolierer (ocker) glänzend poliert wurden. Der Poliervorgang wurde auf 5 Minuten Dauer begrenzt, alle Oberflächen waren hochglänzend.

Die eine Hälfte aller Prüfkörper wurde nach der Politur mit den licht- oder selbsthärtenden Lacken ("Sealern") der jeweiligen Hersteller überzogen, um die in der Literatur oft angegebene Tendenz zur Verfärbung (9, 38) zu überprüfen, die andere Hälfte blieb nach der Politur unbehandelt.

Das Produkt Adaptic wurde lediglich poliert, da der Hersteller keinen speziellen Lack für das Füllungsmaterial anbietet. Auf 3 identischen Glasplatten (100 mm x 200 mm) wurden jeweils 20 der insgesamt 60 Prüfkörper mit einem wasserfesten, transparenten Porzellankleber in zwei Reihen aufgebracht (siehe Abb. 2, Seite 28).

Die Glasplatte No. 1 wurde als Referenzprobe, die Glasplatte No. 2 für das Chlorhexidin-Bad und die Glasplatte No. 3 für die Erythrosin-Spülung mit Hilfe eines Diamentschleifkörpers entsprechend gekennzeichnet.

Abb. 2 Glasplatte No. 1 (Referenzprobe)



### 5.3. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die drei mit den Probenkörpern bestückten Glasplatten wurden in einem mit aqua dest gefüllten Behälter eingebracht und während der gesamten Versuchsdauer, die Spülungen ausgenommen, bei 38° C im Brutschrank aufbewahrt.

Mit dem ersten Spülvorgang wurde erst nach 24 Stunden begonnen, um eine optimale Wasseraufnahme (67) und Temperaturanpassung der Kunststoffe zu gewährleisten.

Für die Chlorhexidin-Proben waren über eine Versuchsdauer von 28 Tagen zwei Spülungen zu je einer Minute täglich vorgesehen, was die Anwendung von Chlorhexamed bei postoperativen Heilungsprozessen (zum Beispiel Kürettagen, Resektionen etc.), intermaxillärer Verschnürung (zum Beispiel Kieferbruch) oder temporärer, manueller Behinderung (zum Beispiel Fraktur eines Armes) simulieren sollte.

Bei der Erythrosin-Versuchsreihe sind wir von der einmal täglichen Anwendung eines Plaqueindikators über 28 Tage ausgegangen, einem Zeitraum also, der zur Effektivitätssteigerung der Mundhygiene eines Problempatienten durchaus rea-

listisch anzusehen ist.

Während bei der Chlorhexidin-Reihe eine Spülung durch simples Eintauchen und Bewegen der Proben in einem mit der 0,1 %-igen Chlorhexamed-Lösung gefüllten Behälter möglich war, stellte sich beim Erythrosin das Problem der Applikationsform. Zum einen wird bei den im Normalfall angewendeten Färbetabletten der Indikator während des Lutschvorgangs aktiv durch die Zunge verteilt, was eine zusätzliche mechanische Beanspruchung des Kunststoffs darstellen kann.

Zum anderen erreicht der Indikator erst nach einer gewissen Lutschzeit seine volle Konzentration, in der Literatur wird 60-90 sec als Optimum angegeben (59), während bei unserem Versuch im Augenblick des Auftragens der Lösung bereits die volle Konzentration vorhanden ist.

Das Problem der Applikationsform wurde mittels eines Watte-stäbchens gelöst, mit dem die Flüssigkeit ständig auf die Probenoberfläche aufgetragen wurde, die Einwirkzeit wurde auf 60 sec festgelegt.

Unmittelbar nach dem Spülvorgang erfolgte das sorgfältige Reinigen aller Proben mit aqua dest und einer weichen Zahnbürste, um die Oberflächen von abgelagerten Lösungsresten zu befreien. Somit war gewährleistet, daß später nur die Farbveränderung des Kunststoffs und nicht eine aufgelagerte Farbschicht gemessen werden konnte.

Alle Spülungen wurden etwa um die gleiche Tageszeit vorgenommen, um den Zeitraum der Ruhephase konstant zu halten.

Es ließ sich beobachten, daß die Prüfkörper unmittelbar nach der Behandlung eine etwas stärkere Einfärbung aufwiesen als nach der Aufbewahrung im aqua-dest-Behälter. Augenscheinlich wurden während der Ruhephase von den Proben geringe Mengen aufgenommenen Farbstoffs ins aqua dest abgegeben. Dies veranlaßte uns, das aqua dest im Aufbewahrungsbehälter vorbeugend alle 3 Tage zu erneuern.

Die ersten mit bloßem Auge sichtbaren Farbveränderungen stellten sich bei der Erythrosin-Reihe vereinzelt schon nach etwa 3 Tagen ein, so bei Adaptic, MFR-Merz, Isopast und Heliosit. Bei der Chlorhexidin-Reihe konnte man erste deutliche Veränderungen erst nach ca. 14 Tagen beobachten.

Nach Ablauf der 28-tägigen Versuchsdauer hatten sich deutliche Verfärbungen unterschiedlichster Intensität bei allen Proben ergeben. Augenscheinlich signifikant war eine Häufung der Farbveränderungen bei den mit Lack nachbehandelten Kunststoffen und bei den Autopolymerisaten.

Der Stand der Verfärbungen wurde nach 14 und 28 Tagen photographisch festgehalten.

Die Meßauswertung erfolgte noch am 28. Tag, einige Stunden nach der letzten Spülung.

#### 5.4. Meßverfahren und Meßgerät

Bei der Beurteilung der Verfärbung durch Chlorhexidin und Erythrosin mußte ein Vergleich zwischen einer unveränderten und einer gespülten Probenfläche vorgenommen werden. Dabei sollten Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Füllungsmaterialien herausgefunden werden. Ein Farbvergleich mit bloßem Auge ist durch die Faktoren der Subjektivität nicht möglich.

Vorschriften zur apparativen Farbmessung sind in DIN 5033 festgelegt. Zur Bestimmung einer Farbe sind grundsätzlich drei Eigenschaften der Farbe zu charakterisieren, die sich zu einer einheitlichen Wirkung, der Farbvalenz, vereinigen. Es werden dort definiert:

- 1. Farbart: "Farbvalenzen, die sich nur durch ihre Helligkeit unterscheiden, besitzen die gleiche Farbart."
- 2. Farbton: "Die Eigenschaft, die eine bunte Farbe von einer unbunten unterscheidet, wird Farbton genannt."
- 3. Sättigung: "Der Grad der Buntheit einer Farbe im Vergleich zum gleichhellen Unbunt (Grau) wird als Sättigung bezeichnet."

An eigentlichen Farbmeßverfahren lassen sich drei verschiedene Prinzipien unterscheiden, die bei SCHULTZE 1966 (61) beschrieben sind:

das Gleichheitsverfahren,  
das Spektralverfahren  
und das Dreibereichsverfahren,

das wir in unserem Test angewendet haben. Beim Dreibereichsverfahren können durch entsprechend einstellbare photoelektrische Empfänger die drei zur Farbbestimmung erforderlichen Meßwerte unmittelbar erhalten werden. Seit 1931 gibt es das allgemein anerkannte CIE-System (CIE = Commission Internationale de l'Eclairage) zur Auswertung. In diesem System werden mittels der Remissionskurve die als X, Y, Z bezeichneten sogenannten Normfarbwerte berechnet. Mit verschiedenen Abstandsformeln können dann die Farbabstände berechnet werden.

Zwei Gruppen von Messungen sind zu unterscheiden:

Reflexionsmessungen werden an Körpern durchgeführt, die auftreffendes Licht zum größten Teil reflektieren, da deren Oberfläche einen starken Glanz aufweist und das Material kaum Licht eindringen läßt (siehe Abb. 3).

Remissionsmessungen werden bei Körpern angewandt, die einen Teil des eingestrahlten Lichtes absorbieren, einen Teil durchlassen, einen Teil reflektieren und einen Teil diffus streuen, d.h. remittieren (siehe Abb. 4).

In diese Kategorie fallen auch die in der vorliegenden Arbeit zu messenden Füllungsmaterialien.

Abb. 3



Reflexionsmessung

Abb. 4



Remissionsmessung

(Brück und Röhms 1972)

Abb. 5

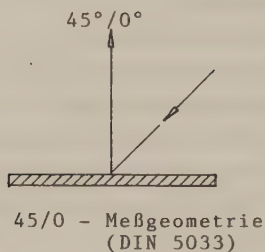
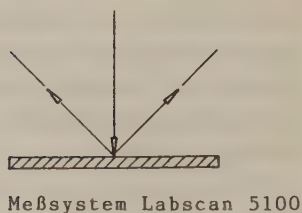


Abb. 6



In DIN 5033 wird eine Meßgeometrie festgelegt, mit der solche Messungen am zweckmäßigsten vorgenommen werden sollen, um Reflexionen auszuschalten. Bei dieser "45/0 Meßgeometrie" erfolgt die Beleuchtung unter 45°, die Messung unter 0° zur Flächennormalen (siehe Abb. 5).

Einen bedeutenden Einfluß auf Remission und Reflexion hat die Oberflächenstruktur einer Probe. Glänzende Proben reflektieren den größten Teil des auftretenden Lichtes, matte Proben remittieren ihn. Mit zunehmender Rauhgigkeit der Probenoberfläche wird der Glanzanteil geringer, zu große Rauhtiefe bedingt aber auf Grund von undefiniertem Lichteinfall Schattenbildung.

Glanz- und Schattenbildung können bei Remissionsmessungen mit der 45/0 Meßgeometrie die Resultate empfindlich stören. Übermäßiger Glanz führt zu einer Verweißlichung, Schatten zu einer Schwarzverhüllung der Farbe.

Wir verwendeten zur Meßauswertung das "Hunter-Lab-Spektralfarbmeßgerät" Modell Labscan 5100 (siehe Abb. 7, Seite 33). Das Labscan ist ein automatisch absuchendes Spektralfarbmeßgerät mit einem Wellenlängenbereich von 400-700 Nanometern. Sämtliche Dreibereichs-Integrationen basieren auf 31-Punkt-Spektralreflektionsdaten mit einem effektiven dreieckigen Bandpassfilter von 10 Nanometern.

Im Gegensatz zu früheren Meßgeräten verwendet der Meßkopf einfallendes Licht von 0° (gefiltert annähernd CIE Beleuchtungsart  $D_{65}$ ) zur Probenoberfläche. Die Beobachtung erfolgt bei 45° durch einen lichtleitenden Faserring von 16 im Kreis angeordneten optischen Empfänger-Stationen (siehe Abb. 6).



Abb. 7 Hunter-Lab-Spektralfarbmeßgerät Labscan 5100

Diese Geometrie schließt Glanzreflektionen von der Messung aus und eliminiert weitgehend die Wirkung von Proben-Oberflächenstruktur und Richtung.

Das Licht, welches von dem optischen Fasermodule gesammelt wird, durchwandert ein kreisförmiges, variables Verlaufsfilter (CVF), den Scanner, das von einem Motor angetrieben wird. Das CVF ist ein sogenannter Monochromator, der das Licht in seine Spektralkomponenten aufteilt. Wenn der Scanner rotiert, werden die verschiedenen Wellenlängen nacheinander durch eine Silizium-Photodiode aufgenommen, und die wellenlängenabhängigen Signale werden zum Analog/Digital-Konverter und zur Zentralelektronikeinheit (CPU) weitergeleitet. Das Mikroprozessor-System, das auf "Intel 8089" basiert, enthält Speicher und Software, welche den Gerätebetriebsablauf kontrollieren und die Berechnungen durchführen (siehe Abb. 8, Seite 34).

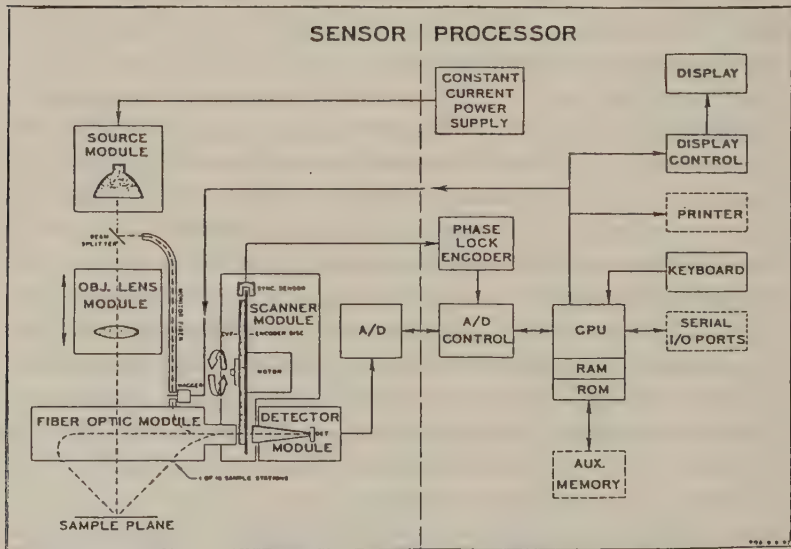
Die ankommenden Signale aus den 16 Beobachtungsstationen werden ständig gemittelt und anschließend auf dem Bildschirm tabellarisch und graphisch angezeigt.

Mittelung und permanente, automatische Aktualisierung der Meßdaten führen zu einer hohen Genauigkeit bei den Messungen.

Farbwerte, wie sie mit diesem Verfahren gemessen werden, sind relativ zum absoluten Wert eines perfekten Weiß-Diffusors, gemessen unter den gleichen geometrischen Bedingungen (siehe ASTM Methode E 306), entsprechend der Internationalen Kommission für Beleuchtung vom 1.1.1969. Diese Werte wurden im Jahre 1978 vom U.S. National Bureau of Standards, relativ zu den Messungen, errechnet.

Zur Absolutmessung einer Farbe wird als Vergleichsstandard ein möglichst reines Weiß verwendet. Dazu soll nach DIN 5033 Bariumsulfatpulver verwendet werden, welches dem idealen Weiß sehr nahekommt. Auch Magnesiumoxydstandards finden für diesen Zweck Anwendung.

Abb. 8



LABSCAN BLOCK DIAGRAM

Die Geräte-Eichung von Labscan 5100 erfolgte mit einem Satz Hauptstandards (Porzellan-Email-Kacheln) der Herstellerfirma, die vom National Bureau of Standards vorgeeicht wurden. Zu diesem Zweck wurde die weiße Kachel auf die Meßblende gelegt, die Istwerte mit den Sollwerten verglichen und der Meßwert für absolutes Weiß im Computer gespeichert. Derselbe Vorgang wurde mit einer schwarzen Kachel für den Schwarzabgleich durchgeführt.

Das Meßgerät war somit geeicht, eine Überprüfung der gespeicherten Standardwerte war während der Meßreihe jederzeit möglich, was wir nach der Hälfte der Messungen und nach Beendigung der Meßreihe vornahmen. Es ergaben sich keine Abweichungen vom ursprünglichen Eichwert.

Die CIE Dreiecksbereichs-X,Y,Z-Skala bildet die farblich passenden Ansprechfunktionen nach, wie sie durch den 1931 festgelegten "2°Standard Beobachter" oder den 1964 "CIE 10° Standard Beobachter" bestimmt wurden.

Für unsere Messungen verwendeten wir aber die sogenannten "entgegengesetzten L,a,b Farbskalen (Hunter L,a,b und CIE 1976 L\* a\* b\*)".

Die entgegengesetzten Farbskalen liefern Farbmessungen in Einheiten von annähernd visueller Übereinstimmung mit dem gesamten Farbkörper:

So mißt L die Helligkeit und variiert von 100 für perfektes Weiß bis zu Null für Schwarz, ungefähr so, wie es das menschliche Auge auswerten würde.

Die Farbartdimensionen a und b geben verständliche Farbbestimmungen wie nachfolgend aufgeführt:

a mißt rot bei plus, grau bei Null und grün bei minus;

b mißt gelb bei plus, grau bei Null und blau bei minus.

Die Beziehungen zwischen Hunter L,a,b-Skala und der CIE X, Y,Z-Skala für den CIE 1931 2°Standard Beobachter für 6 verschiedene Beleuchtungsarten lassen sich wie folgt darstellen:

$$L = 100 (Y/Y_n)^{1/2}$$

$$a = K_a (X/X_n - Y/Y_n) / (Y/Y_n)^{1/2}$$

$$b = K_b (Y/Y_n - Z/Z_n) / (Y/Y_n)^{1/2}$$

wobei

- 1) X, Y, Z als CIE Dreibereichswerte
- 2)  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$ , als Dreibereichswerte der Standardbeleuchtung wie in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt, wobei  $Y_n$  immer gleich 100 ist (normalisiert).

| CIE 1931 2° Standard Beobachter                       |        |        |       |      |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|-------|------|
| <u>Dreibereichswerte für die Standard-Beleuchtung</u> |        |        |       |      |
| Beleuchtung                                           | $X_n$  | $Z_n$  | Ka    | Kb   |
| A                                                     | 109,83 | 35,55  | 185,2 | 38,4 |
| C                                                     | 98,04  | 118,11 | 175,0 | 70,0 |
| D <sub>65</sub>                                       | 95,02  | 108,82 | 172,3 | 67,2 |
| F                                                     | 98,09  | 67,53  | 175,0 | 52,9 |
| Ultralume 3000                                        | 107,99 | 33,91  | 183,7 | 37,5 |
| TL 84                                                 | 109,64 | 39,93  | 185,1 | 40,7 |

wobei

- A = weißglühendes Lampenlicht mit einer Farbtemperatur von 2854° Kelvin
- C = Licht eines bedeckten Himmels mit einer ähnlichen Farbtemperatur von annähernd 6770° Kelvin
- D<sub>65</sub> = Tageslicht mit einer ähnlichen Farbtemperatur von ca. 6500° Kelvin
- F = Licht einer kalten weißen Fluoreszenzquelle
- Ultralume 3000 = Speziallampe der Firma Westinghaus mit vorgegebenem Farbmuster
- TL 84 = Speziallampe der Firma Phillips mit vorgegebenem Farbmuster.

Nach der Hunter L,a,b-Skala errechnet sich die totale Farbdifferenz ( $\Delta E$ ) und Farbartdifferenz ( $\Delta C$ ) für jede Art von Beleuchtung oder Beobachter wie folgt:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

$$\Delta C = [(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

wobei

$\Delta L = L_{SMP} - L_{STD}$  (wenn  $\Delta L + \rightarrow$  Probe heller als Standard)  
(wenn  $\Delta L - \rightarrow$  Probe dunkler als Standard)

$\Delta a = a_{SMP} - a_{STD}$  (wenn  $\Delta a + \rightarrow$  Probe röter als Standard)  
(wenn  $\Delta a - \rightarrow$  Probe grüner als Standard)

$\Delta b = b_{SMP} - b_{STD}$  (wenn  $\Delta b + \rightarrow$  Probe gelber als Standard)  
(wenn  $\Delta b - \rightarrow$  Probe blauer als Standard)

$\Delta E$  stammt von diesen entgegengesetzten Farbskalen und nähert sich den NBS Units of Color Difference (Judd-Hunter). Es präsentiert eine maximale Durchschnittsdifferenz, wie sie im Jahre 1939 im Handelswettbewerb mehrerer Färbereien akzeptiert wurde.

Die CIE 1976  $L^* a^* b^*$ -Skala wird von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) empfohlen. Es ist eine vereinfachte Version der Kubikwurzel der Adams-Nickerson-Einheit, welche durch Aufzeichnen in rechteckigen Koordinaten die Mengen von  $L^* a^* b^*$  produziert.

Wir haben diese Skala für unsere Messungen verwendet, der Sichtschirm des Labscan zeichnete die einlaufenden Meßwerte auch graphisch in einem rechteckigen Koordinatensystem aus. Die Beziehung zwischen der  $L^* a^* b^*$ -Skala und der CIE X,Y,Z-Skala für jede Beleuchtungsart (siehe Beleuchtungstabelle) ist wie folgt:

Für Werte von  $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n < 0,008856$

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 (X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}$$

$$b^* = 200 (Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}$$

Für Werte von  $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n > 0,008856$

$$L^* = 903,3 (Y/Y_n)$$

$$a^* = 500 f(X/X_n) - f(Y/Y_n)$$

$$b^* = 200 f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)$$

wobei

$$f(X/X_n) = 7,787 (X/X_n) + 16/116$$

$$f(Y/Y_n) = 7,787 (Y/Y_n) + 16/116$$

$$f(Z/Z_n) = 7,787 (Z/Z_n) + 16/116$$

$X_n$ ,  $Y_n$  und  $Z_n$  sind Dreibereichswerte für jede Beleuchtungsart.

Nach CIE 1976  $L^*$   $a^*$   $b^*$  lassen sich folgende Werte errechnen:

1. Die totale Differenz  $\Delta E^*$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$\Delta E^*$  ist die gleiche Menge, wie bei der totalen Farbdifferenz  $\Delta E$  nach der Hunter L,a,b-Skala, wobei  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (CIELAB)-Werte verwendet werden. Es nähert sich der NBS-Einheit der Farbdifferenz.

2. Die CIE 1976 a,b Chroma-Differenz  $\Delta C^*$

$$\Delta C^* = \Delta C^*_{SMP} - \Delta C^*_{STD}, \text{ wobei}$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

bezogen auf Metrik-Chroma

$\Delta C^*$  ist die Differenz zwischen dem Chroma der Probe und a,b-Standard-Chroma, wie in einem Polar-Koordinaten-System beschrieben. es entspricht nicht der gleichen Menge wie die Farbartdifferenz  $\Delta C$  (Hunter L,a,b).

3. Die CIE 1976 a,b Färbungsdifferenz  $\Delta H^*$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 + (\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2]^{1/2}$$

$\Delta H^*$  beschreibt die Differenz zwischen dem CIE 1976 a,b des Standards und dem Färbungswinkel der Probe in einem Polar-Koordinaten-System, wobei  $h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$ .

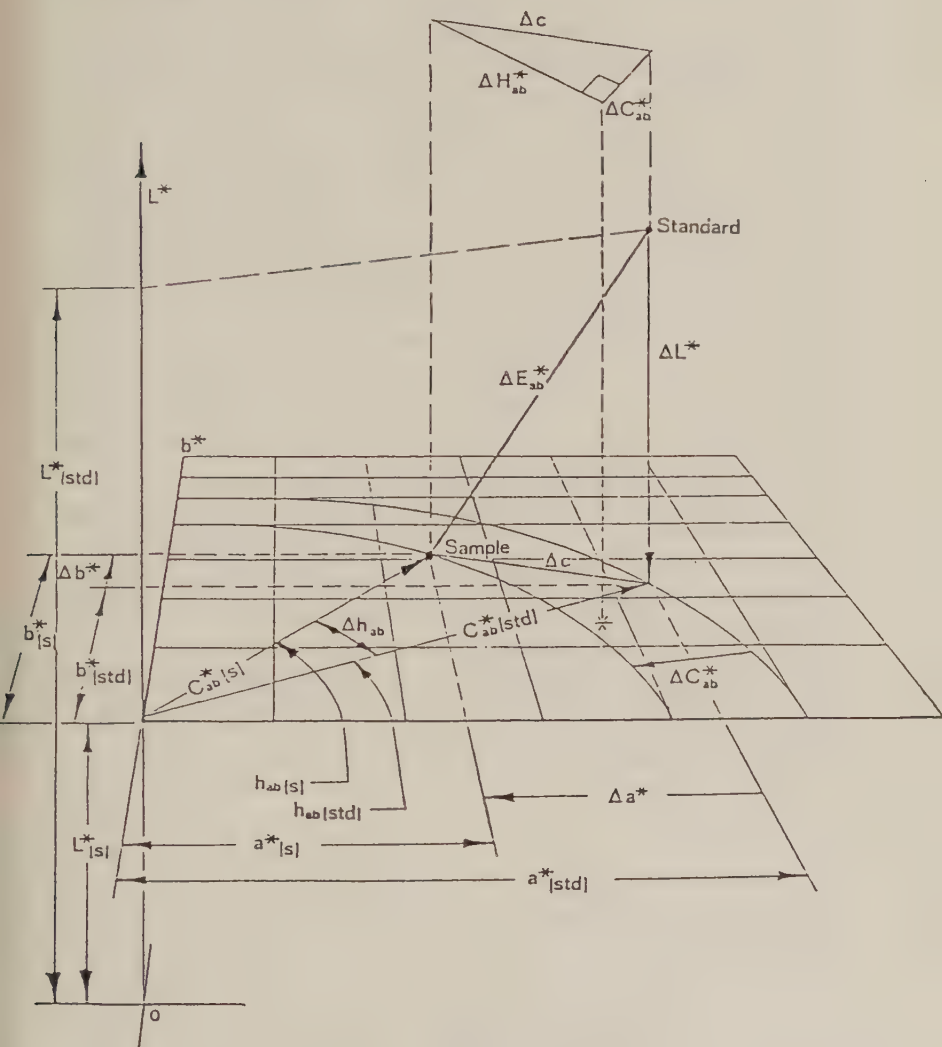
In der Abb 9 (Seite 39) sind die psychometrischen Farbdifferenzformen graphisch dargestellt.

Zur Überprüfung der Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der einzelnen Meßwerte führten wir mit den Referenzproben eine Testmessung durch, in der sich bei Wiederholungsmessungen derselben Prüfkörper immer wieder identische Werte einstellten. Die Abweichungen lagen im Promille-Bereich.

Ebenso wurden Versuchsmessungen mit verschiedenem Hintergrund (weiß, schwarz, grau, ohne Hintergrund) durchgeführt, vor den die Probenkörper jeweils gehalten wurden. Auch hier ergaben sich keine Abweichungen in den Ergebnissen, so daß wir auf die Wahl eines Hintergrunds verzichten konnten.

GRAPHISCHE DARSTELLUNG VON PSYCHOMETRISCHEN FARBDIFFERENZFORMEN

Abb. 9



Die Proben wurden kurz vor den Messungen aus dem Aufbewahrungsbehälter genommen und mit Zellstoff getrocknet, waren also beim Meßvorgang noch durchfeuchtet, die Oberfläche allerdings frei von Wassertropfen.

Die zu messende Probenoberfläche brauchte nur auf die Meßblende (Durchmesser 10 mm) aufgelegt zu werden, nach etwa 5 Sekunden erschienen die Meßwerte auf dem Bildschirm.

Zuerst wurde die Referenzmessung an der jeweiligen Standardprobe durchgeführt, dann die Chlorhexidin-Probe und zuletzt die Erythrosin-Probe gemessen. Die Ergebnisse wurden handschriftlich in eine Tabelle eingetragen und vom Meßverfahren eine Skizze angefertigt. Alle Tätigkeiten der Untersuchung wurden vom Untersucher eigenhändig durchgeführt.

Eventuell schwankende Werte auf Grund von Schattenbildung durch Poren, insbesondere bei den Autopolymerisaten, ließen uns die Messungen unter Verschiebung der Proben wiederholen, bis sich ein konstanter Wert einstellte.

Als Beleuchtungsart wurde der neue Tageslicht-Standard D<sub>65</sub> verwendet, da uns eine andere Beleuchtungs-Qualität nicht sinnvoll erschien. Die Messungen aller Proben und die Testmessungen für Hintergrund und Reproduzierbarkeit waren nach 2 1/2 Stunden abgeschlossen.

Die Meßgenauigkeit des Gerätes liegt laut Herstellerangaben um  $\pm 0,1$  Einheiten. Das Gerät war neu, bis dato hatte es keine Beanstandungen gegeben.

## 6 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG DER MESSERGEBNISSE

Zur Meßauswertung ist folgendes festzustellen:

Die Besonderheit des gerätespezifischen Meßverfahrens, keine punktförmige, sondern eine flächenförmige Abtastung des gesamten Ausschnitts der Probenoberfläche ( $\emptyset$  der Meßblende = 10 mm) vorzunehmen, erbrachte bei Wiederholungsmessungen immer nahezu identische Meßwerte, ganz im Gegensatz zu früheren Photometer-Verfahren, wo das Vorhandensein einer großen Pore oder eines Einschlusses am "Meßpunkt" zu Schattenbildungen und damit zu Verfälschungen der Meßergebnisse führte. In dieser Untersuchung ergaben Wiederholungsmessungen schlechtestenfalls Differenzen im Promille-Bereich.

Im übrigen decken sich die vom Farbcomputer ermittelten Werte augenscheinlich mit den Erkenntnissen, die durch die Beurteilung mit bloßem Auge gewonnen werden konnten. Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse haben wir das vom Rechner vorgegebene System übernommen und ergänzt, der Maßstab wurde vereinheitlicht.

Laut Angaben des Meßgeräte-Herstellers kann das menschliche Auge bereits 0,2 Einheiten Abweichung vom Referenzwert als Farbdifferenz wahrnehmen. Dieser Wert gilt für ein in der Farbbeurteilung geübtes Auge; bei untrainierten Augen liegt der Wert bei etwa 0,8 Einheiten. Wir haben die klinisch vertretbare Grenze einer Einfärbung in Übereinstimmung mit dem visuellen Eindruck auf 3,0 Einheiten festgelegt - diese Farbveränderung ist selbst für das ungeübteste Auge deutlich sichtbar.

Die erhaltenen Meßwerte konnten nun anhand der bereits besprochenen Umrechnungsformeln auf Farbabweichungsmaßstäbe umgewandelt werden, wobei wir uns auf folgende Systeme beschränkten:

1. Die totale Differenz  $\Delta E^*$  (nach CIE 1976  $L^* a^* b^*$ )
2. Die totale Farbdifferenz  $\Delta E$  (nach Hunter  $L, a, b$ )
3. Die Farbartdifferenz  $\Delta C$  (nach Hunter  $L, a, b$ ).

Diese Systeme entsprechen weitgehend den Wahrnehmungen des menschlichen Auges und sind somit für eine realistische Beurteilung von Farbabweichungen relevant.

### Zu den Ergebnissen:

Alle mit Chlorhexidin oder Erythrosin gespülten Füllungs-  
kunststoffe zeigten eine mehr oder weniger starke Farb-  
veränderung.

Sämtliche mit Erythrosin gespülten Proben lagen außerhalb des klinischen Tolerenzbereiches, die Verfärbungen waren vereinzelt eminent. Heliosit, Adaptic und Isopast lagen um das 20-30fache über dem Wert, den das Auge als Farbunterschied werten kann. Entsprechend auffällig war der visuelle Eindruck. Die starke Adsorptionseigenschaft dieses Farbstoffs war beeindruckend - versehentliche Benetzung der Finger hatte eine tagelang anhaltende Verfärbung zur Folge.

In der Chlorhexidin-Testreihe blieben nur 4 Produkte innerhalb des klinischen Tolerenzbereiches:

|               |                                         |   |   |   |
|---------------|-----------------------------------------|---|---|---|
| Durafill      | mit 1,22 Einheiten absoluter Verfärbung |   |   |   |
| Visio Dispers | mit 1,29                                | " | " | " |
| Prisma Fil    | mit 2,32                                | " | " | " |
| Heliosit      | mit 2,50                                | " | " | " |

Diese Materialien sind alle lichthärtende Composites, die nicht mit Sealern nachbehandelt wurden. Speziell in der Chlorhexidin-Reihe konnten bei 5 von den 6 lichthärtenden Kunststoffen eine teilweise deutlich stärkere Verfärbung durch die Verwendung von Sealern festgestellt werden. In der Erythrosin-Reihe war diese Tendenz immerhin bei 3 von den 6 gleichen Materialien zu erkennen, vereinzelt war die Einfärbung bis zu 100 % größer (Durafill) im Vergleich zum "nur polierten" Zustand.

Die von mehreren Autoren (9, 38, 41) beschriebene Verfärbungsneigung der Sealer sehen wir mit dieser Arbeit bestätigt. Somit können wir die Anwendung von "Lacken" zur Versiegelung von lichtgehärteten Composite-Füllungen nicht empfehlen.

Bei den Autopolymerisaten dagegen scheint es sich genau umgekehrt zu verhalten - in beiden Testreihen war es durch die Verwendung von Sealern bei einigen Materialien zu einer teilweise deutlich geringeren Farbveränderung gekommen.

Wir nehmen an, daß der "Lack" bei den 2-Komponenten-Composites eine Versiegelung der ohnehin vorhandenen unvermeidlichen Poren (38) in der Oberfläche bewirkte, was letztlich zu einer geringeren Aufnahme und Ablagerung von Farbmolekülen führte. Die Verwendung von Sealern dürfte hier zu positiven Ergebnissen gelangen.

Ganz im Gegensatz zu der von WITTMANN (69) 1977 durchgeführten Untersuchung kam es in unserem Test zu eindeutigen Farbveränderungen der Füllungskunststoffe. Dieses Ergebnis deckt sich mit sehr vielen Berichten aus der Literatur, die eine Einfärbung von Zähnen und Füllungen nach Chlorhexidingebrauch beschreiben (1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16, 20, 24, 25, 28, 29, 30, 35, 36, 46, 48). Allerdings sollte zwischen zwei Arten der Farbveränderung unterschieden werden:

1. Farbveränderungen auf Grund von angefärbten Plaqueauflagerungen (33)
2. Infiltrationsverfärbungen der Füllungen selbst durch poröse oder defekte Oberflächen (19, 46).

Punkt 1 entfällt auf Grund des in vitro-Versuchs - darüber hinaus wurden die Probenkörper nach jeder Spülung mit einer weichen Zahnbürste und aqua dest gründlich gereinigt; jede Belagbildung war somit ausgeschlossen.

Punkt 2 muß durch die sehr sorgfältig gehandhabte Probenherstellung insofern eingeschränkt werden, daß keine erkennbaren Porositäten an der Oberfläche vorhanden waren, es sich aber letztlich doch um Infiltrationsverfärbungen handelte. Erst durch Nachpolieren der Proben mit dem bereits beschriebenen Hochglanzpolierer (siehe S. 27) und dem damit verbundenen Abtragen der obersten Kunststoffschicht konnten wir die Farbveränderungen beseitigen.

Eine mechanische Entfernung der Verfärbung ist also möglich. Dabei spielte es keine Rolle, ob es Probekörper aus der Erythrosin- oder Chlorhexidin-Testreihe waren.

Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse von WITTMANN (69) und dieser Arbeit sollte nicht in einer etwaigen Qualitätsverschlechterung der neueren Füllungskunststoffe, sondern in den geänderten Versuchsbedingungen zu suchen sein. So arbeitete WITTMANN ebenfalls mit einer gebrauchsfertigen

0,1 %-igen Chlorhexidin-Lösung, die Spülfrequenz betrug ebenso 2 x täglich eine Minute über 28 Tage - allerdings führte WITTMANN alle Spülungen in Folge an nur einem einzigen Tag durch. Wir hingegen bewahrten die Proben in aqua dest bei 38° C im Brutschrank auf und holten sie nur 2 x täglich zum Spülen aus dem Wasserbad. Auf diese Weise ließen sich zumindest einige der in vivo-Bedingungen eines Langzeitversuchs simulieren, die nach unserer Ansicht für das positive Ergebnis (Einfärbung) mitverantwortlich waren - die meisten in der Literatur beschriebenen Farbveränderungen resultierten aus in vivo-Untersuchungen (1, 2, 6, 7, 10, 11, 14, 16, 24, 25, 29, 30, 35, 36, 46, 48), wobei der auf Kunststoffe destruierend wirkende Einfluß des natürlichen Mundmilieus (enzymatische und mechanische Einwirkungen) Verfärbungen eher noch begünstigte. WITTMANN wertete seine Untersuchungen am Leitz-Photometer MPV 2 aus, das im gleichen Wellenlängen-Bereich (400-700 nm) wie unser Hunterlab-Photometer arbeitete. Die etwas unterschiedliche Arbeitsweise und die hohe Genauigkeit des von uns verwendeten Meßverfahrens können als weitere Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse in Betracht gezogen werden. Es liegt der Schluß nahe, daß die "hochglanzpolierten" Oberflächen der Composites eine Adsorption von Chlorhexidin oder Erythrosin sicherlich verringern, nicht aber verhindern können. Maßgebend für den Parameter "Verfärbung" sind die Qualität der Oberflächenstruktur der Composites und die Umwelteinflüsse, die auf sie einwirken. Füllungen, die a priori Risse oder Randspalten aufweisen, sind beim Gebrauch von Chlorhexidin insbesondere von Erythrosin stark gefährdet - mechanische Reinigung ist gerade hier nicht mehr möglich und die Erneuerung der Füllungen angezeigt.

Die starke Adsorptionseigenschaft des Farbstoffs Erythrosin läßt uns zu der Empfehlung kommen, auf andere, weniger aggressive Plaquerelevatoren, wie zum Beispiel auf Natriumfluoreszin, das nur durch UV-Licht sichtbar wird, auszuweichen.

In der Frage der Chlorhexidinanwendung sollte es dem Zahnarzt überlassen bleiben, zwischen den großen therapeutischen

Vorteilen des Chlorhexidins und wahrscheinlichen kosmetischen Problemen abzuwägen.

Die genauen Einzelmeßwerte aller Produkte sind den nachfolgenden Tabellen und Graphiken zu entnehmen.

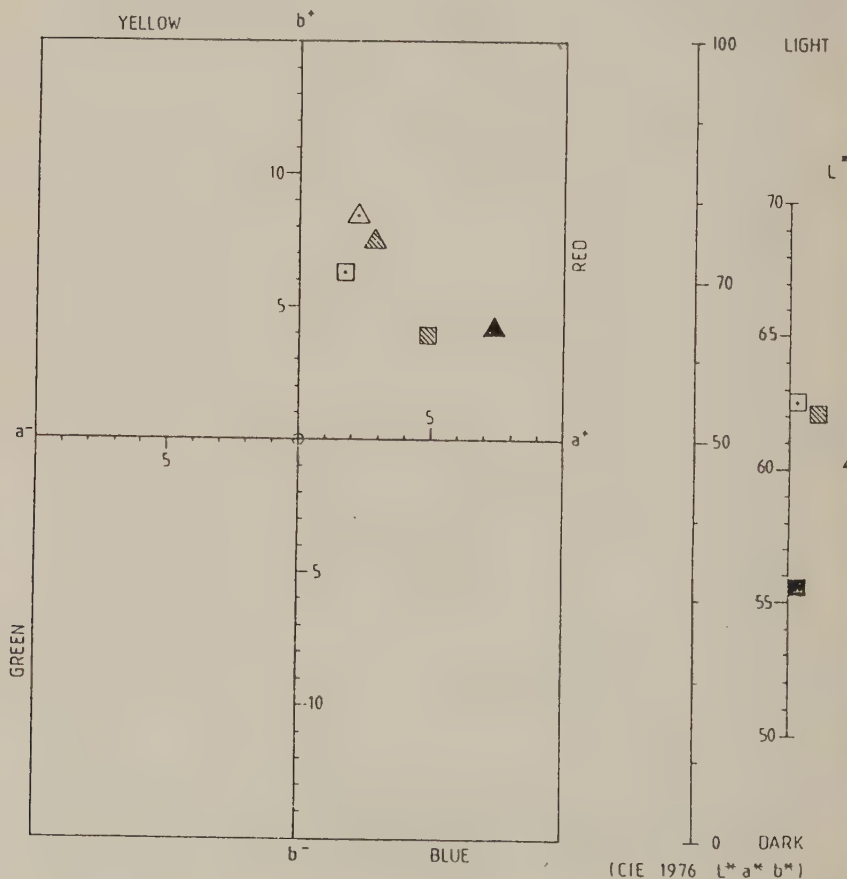
In den Abb. 10-19 sind die Farbabweichungen aller verwendeten Materialien in die jeweiligen Farbrichtungen (rot-grün, gelb-blau) aufgeschlüsselt, ebenso die Helligkeitsveränderungen der Proben.

Die Abb. 20 liefert eine graphische Gesamtübersicht über die Ergebnisse.

Abb. 10

## DURAFILL

|                                 | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |     |      |
|---------------------------------|-------------|------|------|-----------|-----|------|
|                                 | L*          | a*   | b*   | L*        | a*  | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 62,6        | 2,0  | 6,2  | 60,9      | 2,4 | 8,5  |
| Chlorhexidin-Probe:             | 62,1        | 5,0  | 4,0  | 60,4      | 2,9 | 7,5  |
| ΔE:                             | -0,5        | 3,0  | -2,2 | -0,5      | 0,5 | -1,0 |
| Erythrosin-Probe:               | 55,6        | 14,4 | -1,5 | 58,0      | 7,4 | 4,1  |
| ΔE:                             | -7,0        | 12,4 | -7,7 | -2,9      | 5,0 | -4,4 |

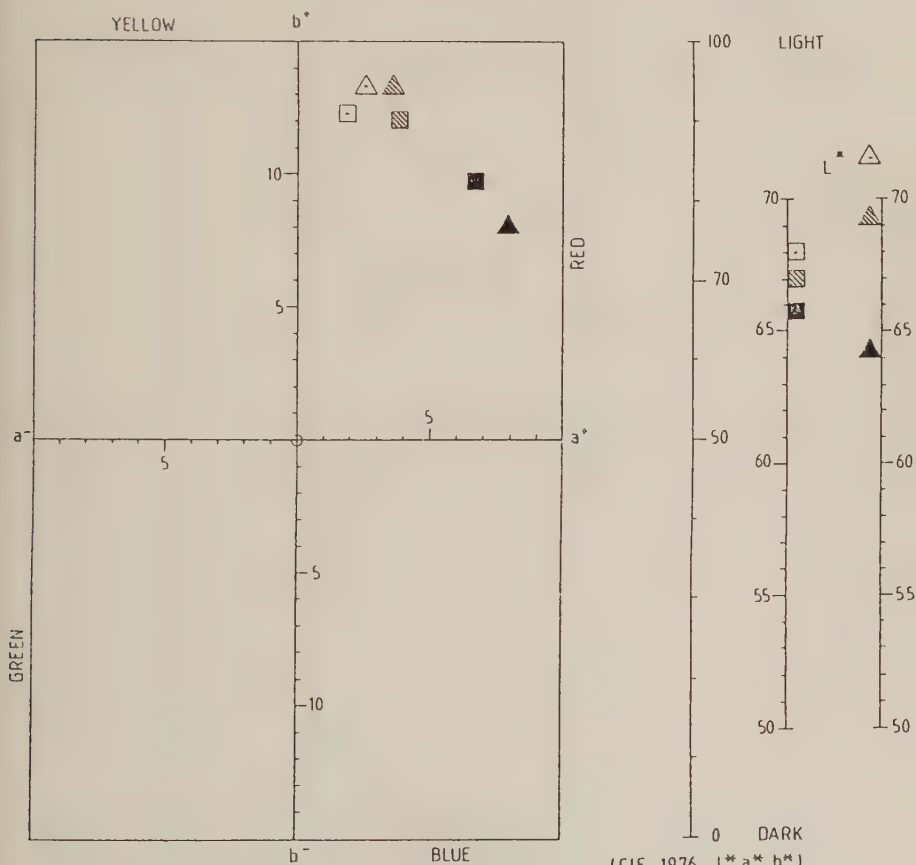


Messgenauigkeit ± 0,1

Abb. 11

HELIOSIT

|                                 | (m. Sealer) |     |      | (poliert) |     |      |
|---------------------------------|-------------|-----|------|-----------|-----|------|
|                                 | L*          | a*  | b*   | L*        | a*  | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 68,0        | 2,0 | 12,3 | 71,5      | 2,7 | 13,3 |
| Chlorhexidin-Probe:             | 67,0        | 4,0 | 12,0 | 69,3      | 3,9 | 13,4 |
| ΔE:                             | -1,0        | 2,0 | -0,3 | -2,2      | 1,2 | 0,1  |
| Erythrosin-Probe:               | 65,8        | 6,9 | 9,7  | 64,2      | 8,1 | 8,0  |
| ΔE:                             | -2,2        | 4,9 | -2,6 | -7,3      | 5,4 | -5,3 |



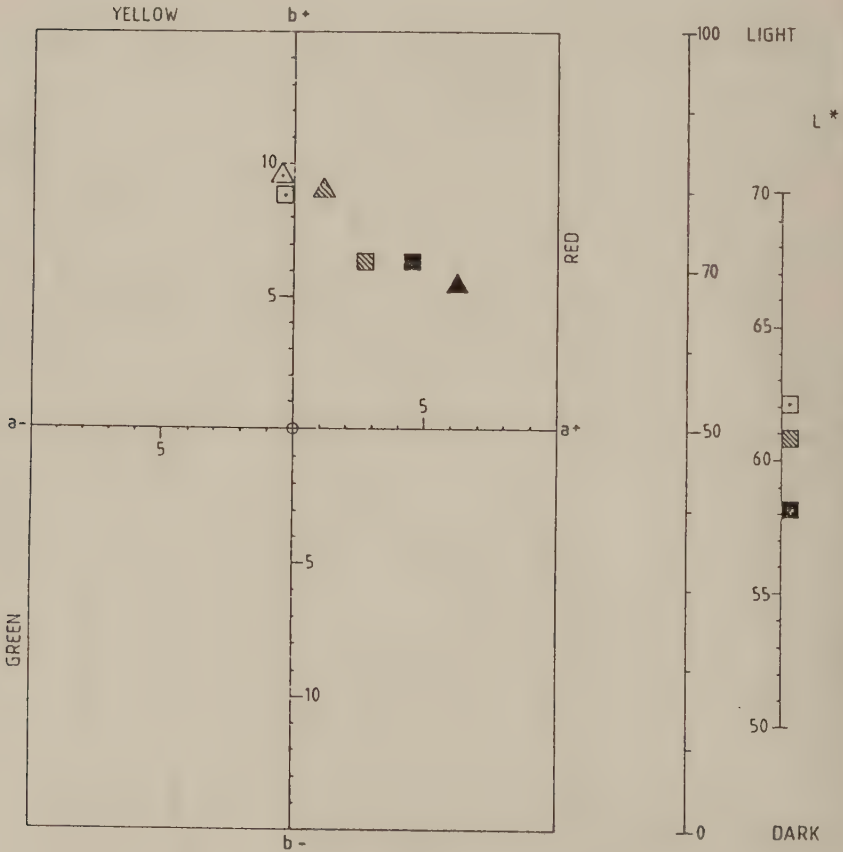
- Standard - Probe E<sub>0</sub> m Sealer /
- ▨ Chlorhexidin - Probe " " /
- Erythrosin - Probe " " /
- △ poliert
- ▤ "
- ▲ "

Messgenauigkeit ± 0,1

Abb. 12

PRISMA-FIL

|                                 | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |      |      |
|---------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|                                 | L*          | a*   | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 62,1        | -0,3 | 8,9  | 62,9      | -0,2 | 9,5  |
| Chlorhexidin-Probe:             | 60,8        | 2,9  | 6,4  | 61,2      | 1,3  | 9,0  |
| ΔE:                             | -1,3        | 3,4  | -2,5 | -1,7      | 1,5  | -0,5 |
| Erythrosin-Probe:               | 58,2        | 4,8  | 6,4  | 58,5      | 6,3  | 5,4  |
| ΔE:                             | -3,9        | 5,1  | -2,5 | -4,4      | 6,5  | -4,1 |



- Standard - Probe E<sub>0</sub> m. Sealer / △ poliert  
 ▨ Chlorhexidin - Probe " " / ▨ " "  
 ■ Erythrosin - Probe " " / ▲ " "

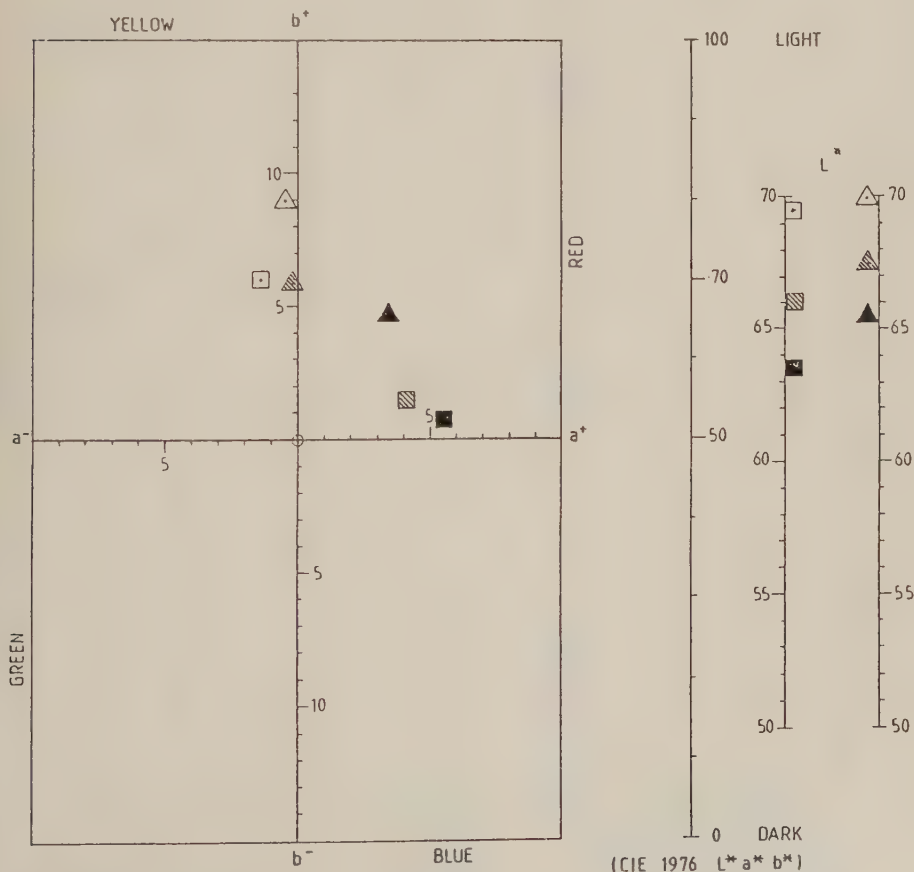
Messgenauigkeit ± 0,1

(CIE 1976 L\* a\* b\*)

Abb. 13

SILUX

|                                 | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |      |      |
|---------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|                                 | L*          | a*   | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 69,5        | -1,5 | 6,0  | 69,9      | -0,5 | 8,9  |
| Chlorhexidin-Probe:             | 66,0        | 4,2  | 1,6  | 67,4      | -0,1 | 5,9  |
| ΔE:                             | -3,5        | 5,7  | -4,4 | -2,5      | 0,4  | -3,0 |
| Erythrosin-Probe:               | 63,7        | 5,5  | 0,7  | 65,4      | 3,4  | 4,7  |
| ΔE:                             | -5,8        | 7,0  | -5,3 | -4,5      | 3,9  | -4,2 |



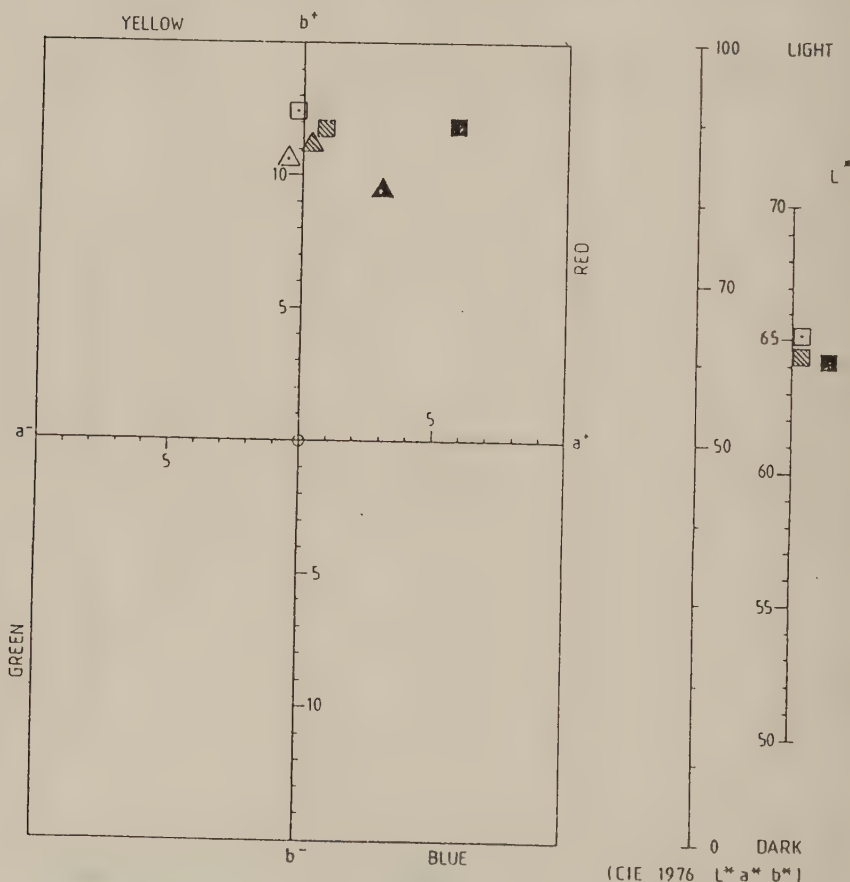
- Standard - Probe E<sub>0</sub> m. Sealer /  
 Chlorhexidin - Probe " " /  
 Erythrosin - Probe " " /
- poliert  
 "  
 "

Messgenauigkeit ± 0,1

Abb. 14

VISIO DISPERS

|                                 | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |      |      |
|---------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|                                 | L*          | a*   | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 65,1        | -0,1 | 12,3 | 64,4      | -0,6 | 10,5 |
| Chlorhexidin-Probe:             | 64,3        | 1,0  | 11,8 | 63,7      | 0,3  | 11,1 |
| ΔE:                             | -0,8        | 1,1  | -0,5 | -0,7      | 0,9  | 0,6  |
| Erythrosin-Probe:               | 64,2        | 6,0  | 11,9 | 61,6      | 3,1  | 9,4  |
| ΔE:                             | -0,9        | 6,1  | -0,4 | -2,8      | 3,7  | -1,1 |



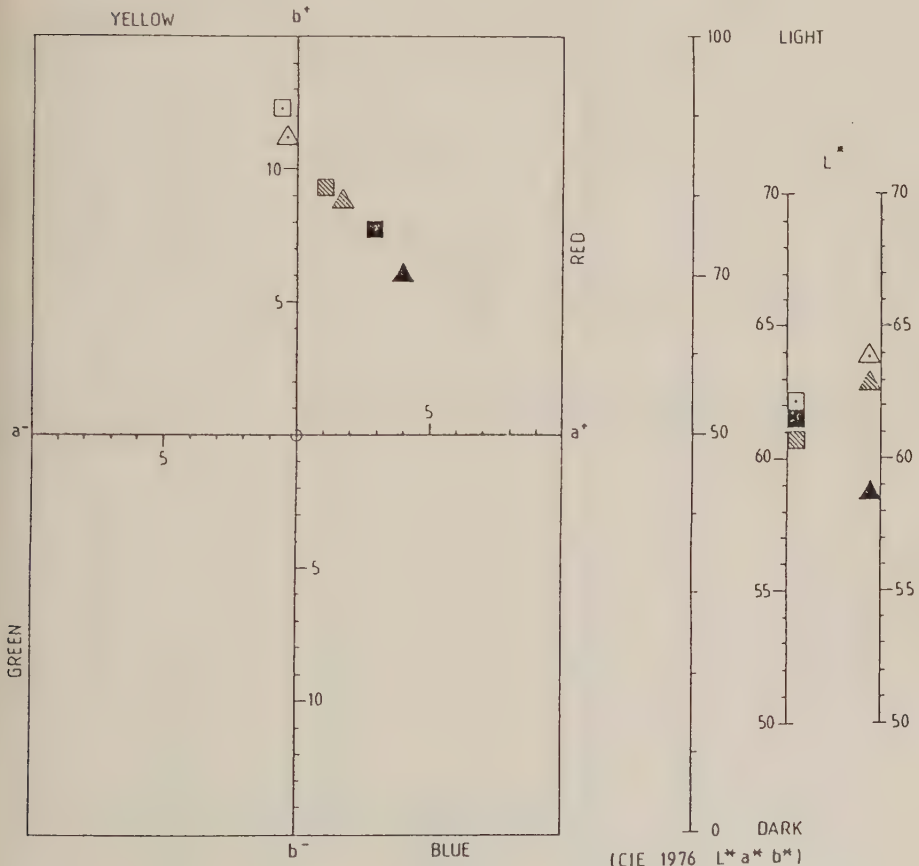
- Standard - Probe E<sub>0</sub> m Sealer /  
 Chlorhexidin - Probe " " /  
 Erythrosin - Probe " " /  
 poliert  
 "  
 "

Messgenauigkeit ± 0,1

Abb. 15

VISIO-FIL

|                                 | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |      |      |
|---------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|                                 | L*          | a*   | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 62,1        | -0,7 | 12,2 | 63,9      | -0,3 | 11,1 |
| Chlorhexidin-Probe:             | 60,6        | 1,2  | 9,2  | 62,8      | 1,8  | 8,9  |
| ΔE:                             | -1,5        | 1,9  | -3,0 | -1,1      | 2,1  | -2,2 |
| Erythrosin-Probe:               | 61,5        | 3,0  | 7,8  | 58,7      | 4,1  | 6,0  |
| ΔE:                             | -0,6        | 3,7  | -4,4 | -5,2      | 4,4  | -5,1 |



- |                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| □ Standard - Probe E <sub>0</sub> m. Sealer / | △ poliert |
| ▨ Chlorhexidin - Probe " " /                  | ▨ "       |
| ■ Erythrosin - Probe " " /                    | ▲ "       |

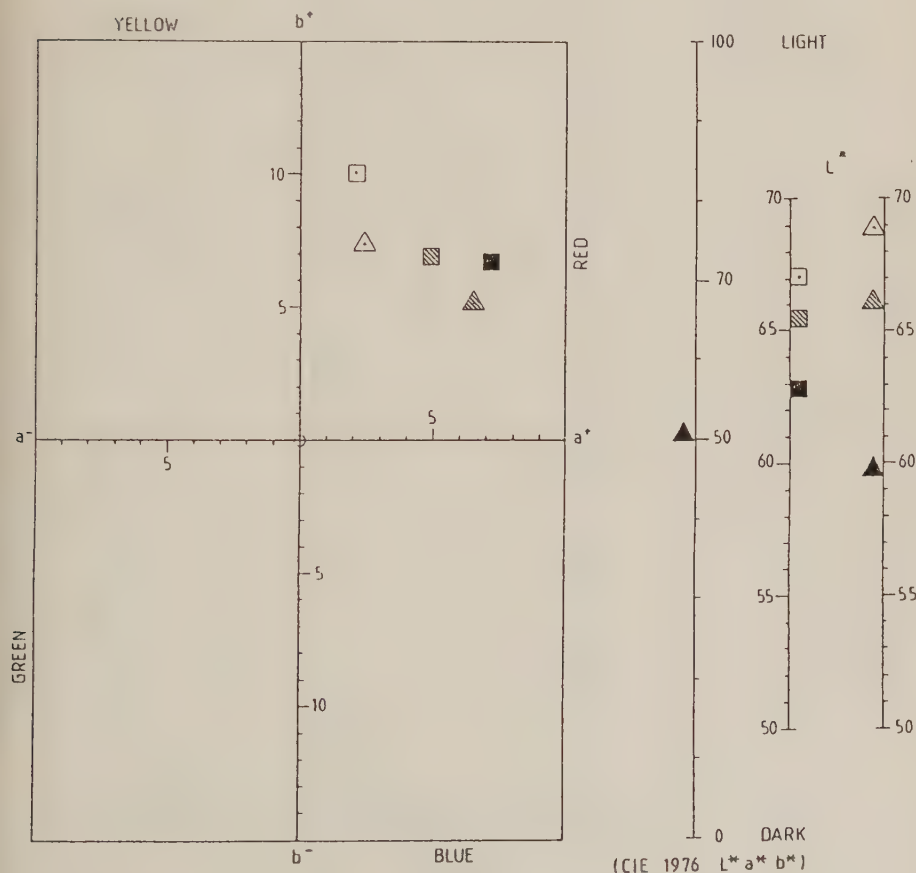
Messgenauigkeit ± 0,1



Abb. 17

ISOPAST

|                                 | (m. Sealer) |     |      | (poliert) |      |      |
|---------------------------------|-------------|-----|------|-----------|------|------|
|                                 | L*          | a*  | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 67,1        | 2,1 | 10,0 | 68,8      | 2,4  | 7,3  |
| Chlorhexidin-Probe:             | 65,5        | 5,0 | 6,9  | 66,0      | 6,6  | 5,1  |
| ΔE:                             | -1,6        | 2,9 | -3,1 | -2,8      | 4,2  | -2,2 |
| Erythrosin-Probe:               | 62,9        | 7,2 | 5,7  | 59,7      | 14,4 | 0,3  |
| ΔE:                             | -4,2        | 5,1 | -4,3 | -9,1      | 12,0 | -7,0 |



- Standard - Probe E<sub>0</sub> m Sealer /
- ▨ Chlorhexidin - Probe " " /
- Erythrosin - Probe " " /
- △ poliert
- ▴ "
- ▲ "

Messgenauigkeit ± 0,1

Abb. 18

MFR MERZ PASTE-PASTE

|                        | (m. Sealer) |      |      | (poliert) |      |      |
|------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|                        | L*          | a*   | b*   | L*        | a*   | b*   |
| Standard-Probe $E_0$ : | 57,7        | -1,0 | 6,5  | 57,8      | -0,6 | 7,7  |
| Chlorhexidin-Probe:    | 59,6        | 5,8  | 2,8  | 57,3      | 2,8  | 6,8  |
| $\Delta E$ :           | 2,1         | 6,8  | -3,7 | -0,5      | 3,4  | -0,9 |
| Erythrosin-Probe:      | 53,0        | 10,5 | 2,0  | 54,8      | 7,0  | 4,2  |
| $\Delta E$ :           | -4,7        | 11,5 | -4,5 | -3,0      | 7,6  | -3,5 |

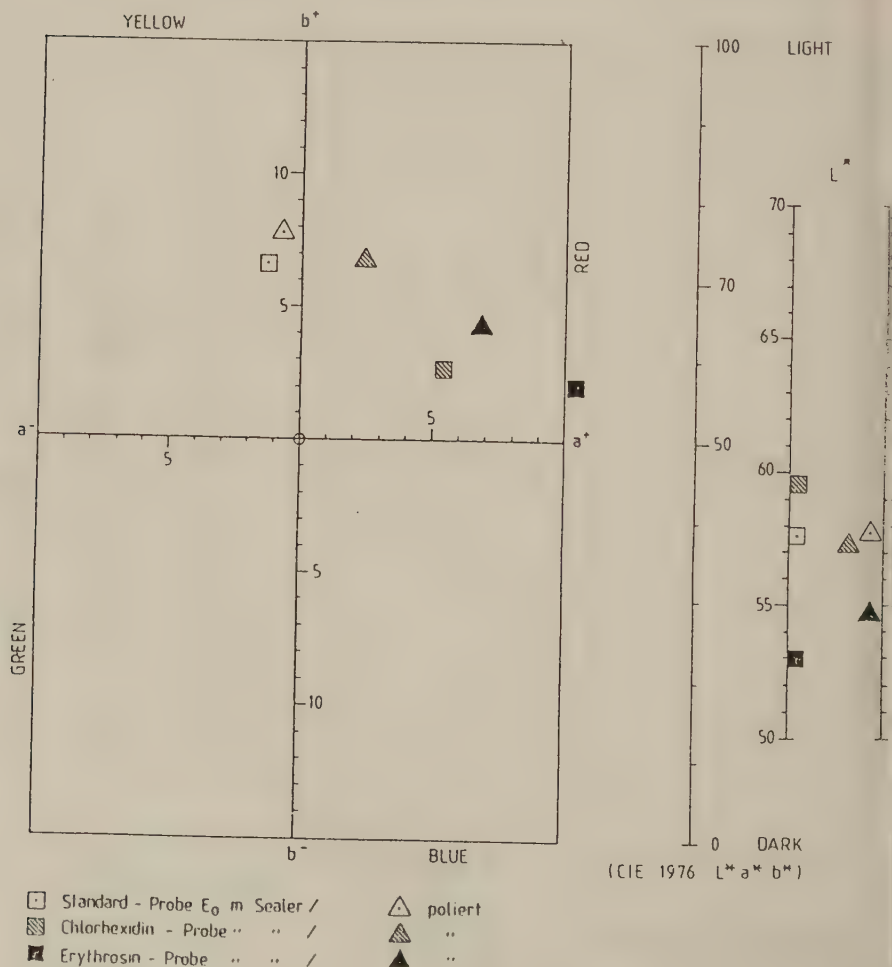
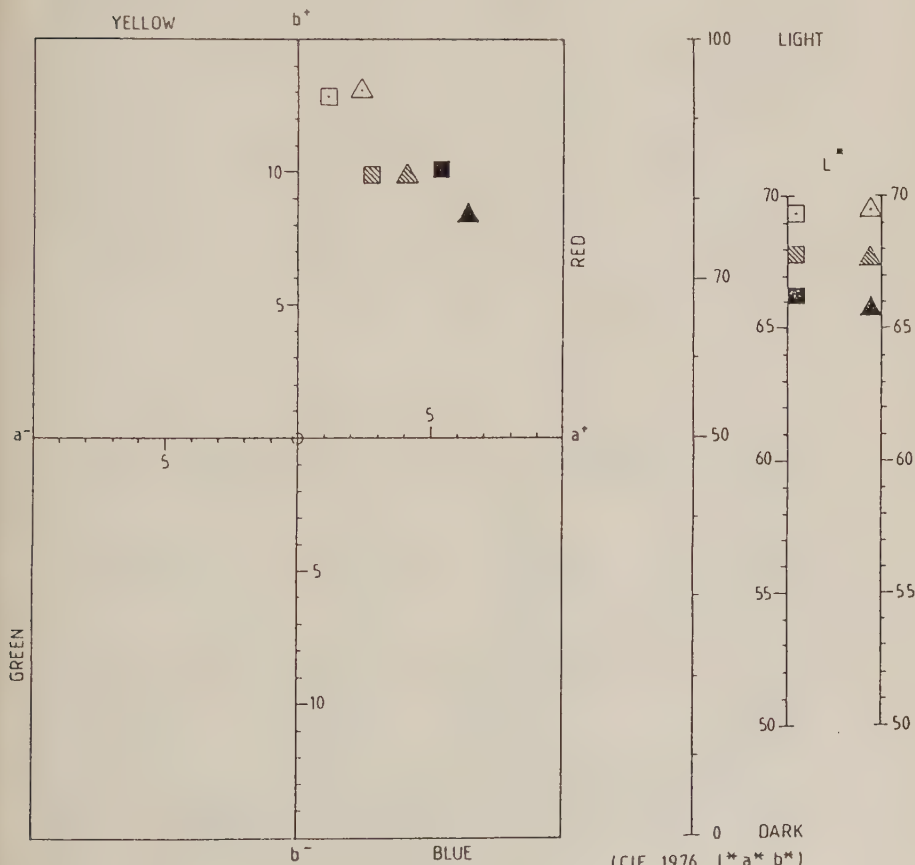


Abb. 19

NIMETIC-DISPERS

|                                 | (m. Sealer) |     |      | (poliert) |     |      |
|---------------------------------|-------------|-----|------|-----------|-----|------|
|                                 | L*          | a*  | b*   | L*        | a*  | b*   |
| Standard-Probe E <sub>0</sub> : | 69,4        | 1,2 | 12,8 | 69,5      | 2,5 | 13,0 |
| Chlorhexidin-Probe:             | 67,8        | 2,9 | 9,9  | 67,6      | 4,2 | 9,9  |
| ΔE:                             | -1,6        | 1,7 | -2,9 | -1,9      | 1,7 | -3,1 |
| Erythrosin-Probe:               | 66,2        | 5,6 | 10,1 | 65,7      | 6,5 | 8,3  |
| ΔE:                             | -3,2        | 4,4 | -2,7 | -3,8      | 4,0 | -4,7 |



- Standard - Probe E<sub>0</sub> m. Sealer / 
  poliert  
 Chlorhexidin - Probe " " / 
  "  
 Erythrosin - Probe " " / 
  "

Messgenauigkeit ± 0,1

Totale Differenz  $\Delta E^*$  (nach CIE 1976 L\*a\*b\*)

und

Totale Farbdifferenz  $\Delta E$  (nach Hunter L,a,b)

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \hat{=} \Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

### 1. Chlorhexidin-Proben

a)  $\Delta E^* / \Delta E$  mit Sealer

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Durafill        | 3,75     |
| Heliosit        | 2,25     |
| Prisma-Fil      | 4,41     |
| Silux           | 8,01     |
| Visio-Dispers   | 1,45     |
| Visio-Fil       | 3,85     |
| Adaptic         | entfällt |
| Isopast         | 4,54     |
| MFR-Merz        |          |
| Paste-Paste     | 8,20     |
| Nimetic-Dispers | 3,72     |

b)  $\Delta E^* / \Delta E$  poliert

|                 |      |
|-----------------|------|
| Durafill        | 1,22 |
| Heliosit        | 2,50 |
| Prisma-Fil      | 2,32 |
| Silux           | 3,92 |
| Visio-Dispers   | 1,29 |
| Visio-Fil       | 3,23 |
| Adaptic         | 3,56 |
| Isopast         | 5,51 |
| MFR-Merz        |      |
| Paste-Paste     | 3,55 |
| Nimetic-Dispers | 4,01 |

### 2. Erythrosin-Proben

a)  $\Delta E^* / \Delta E$  mit Sealer

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Durafill        | 16,19    |
| Heliosit        | 5,97     |
| Prisma-Fil      | 6,89     |
| Silux           | 10,52    |
| Visio-Dispers   | 6,18     |
| Visio-Fil       | 5,78     |
| Adaptic         | entfällt |
| Isopast         | 7,88     |
| MFR-Merz        |          |
| Paste-Paste     | 13,21    |
| Nimetic-Dispers | 6,07     |

b)  $\Delta E^* / \Delta E$  poliert

|                 |       |
|-----------------|-------|
| Durafill        | 7,26  |
| Heliosit        | 10,51 |
| Prisma-Fil      | 8,85  |
| Silux           | 7,29  |
| Visio-Dispers   | 4,77  |
| Visio-Fil       | 8,50  |
| Adaptic         | 12,01 |
| Isopast         | 16,61 |
| MFR-Merz        |       |
| Paste-Paste     | 8,89  |
| Nimetic-Dispers | 7,24  |

Farbartdifferenz  $\Delta C$  (nach Hunter L,a,b)

$$\Delta C = [(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

1. Chlorhexidin-Proben

a)  $\Delta C$  mit Sealer

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Durafill        | 3,72     |
| Heliosit        | 2,02     |
| Prisma-Fil      | 4,22     |
| Silux           | 7,20     |
| Visio-Dispers   | 1,20     |
| Visio-Fil       | 3,55     |
| Adaptic         | entfällt |
| Isopast         | 4,24     |
| MFR-Merz        |          |
| Paste-Paste     | 7,74     |
| Nimetic-Dispers | 2,40     |

b)  $\Delta C$  poliert

|                 |      |
|-----------------|------|
| Durafill        | 1,12 |
| Heliosit        | 1,20 |
| Prisma-Fil      | 1,58 |
| Silux           | 3,03 |
| Visio-Dispers   | 1,08 |
| Visio-Fil       | 3,04 |
| Adaptic         | 3,32 |
| Isopast         | 4,74 |
| MFR-Merz        |      |
| Paste-Paste     | 3,52 |
| Nimetic-Dispers | 3,53 |

2. Erythrosin-Proben

a)  $\Delta C$  mit Sealer

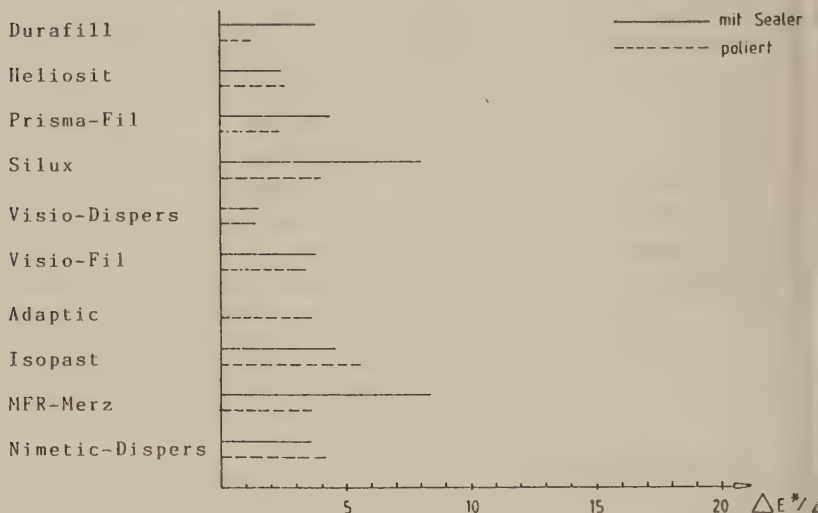
|                 |          |
|-----------------|----------|
| Durafill        | 14,60    |
| Heliosit        | 5,55     |
| Prisma-Fil      | 5,68     |
| Silux           | 8,78     |
| Visio-Dispers   | 6,11     |
| Visio-Fil       | 5,75     |
| Adaptic         | entfällt |
| Isopast         | 6,67     |
| MFR-Merz        |          |
| Paste-Paste     | 12,35    |
| Nimetic-Dispers | 5,16     |

b)  $\Delta C$  poliert

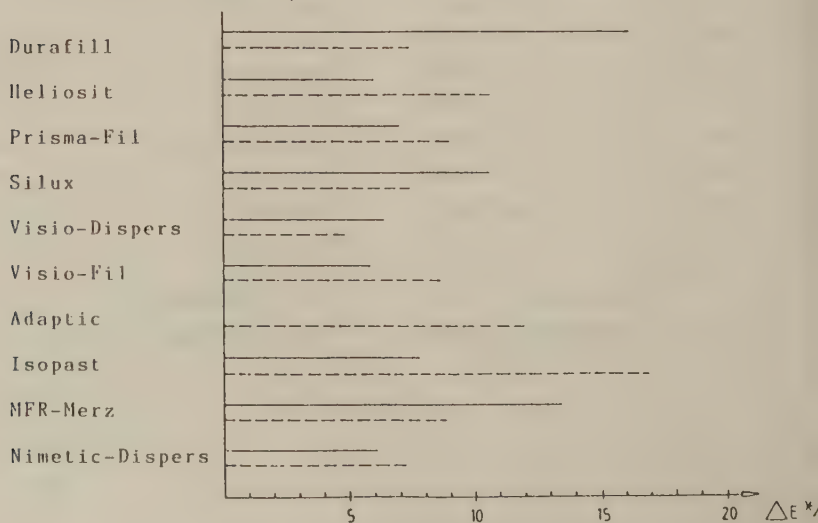
|                 |       |
|-----------------|-------|
| Durafill        | 6,66  |
| Heliosit        | 7,57  |
| Prisma-Fil      | 7,68  |
| Silux           | 5,73  |
| Visio-Dispers   | 3,86  |
| Visio-Fil       | 6,73  |
| Adaptic         | 10,09 |
| Isopast         | 13,89 |
| MFR-Merz        |       |
| Paste-Paste     | 8,37  |
| Nimetic-Dispers | 6,17  |

Graphische Gesamtübersicht der Totalen Differenz  
und der Totalen Farbdifferenz  $\Delta E^*/\Delta E$  (CIE 1976  $L^*a^*b^*$ /  
Hunter  $L,a,b$ )  
Abb. 20

1. Chlorhexidin-Proben



2. Erythrosin-Proben



## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Von zahlreichen Autoren wurde seit vielen Jahren immer wieder festgestellt, daß beim Chlorhexidin-Gebrauch Verfärbungen von Zähnen und insbesondere von Füllungen auftreten können. Noch nicht untersucht wurde bisher die Farbeinwirkung des Plaqueindikators Erythrosin auf Füllungskunststoffe - Erythrosin ist in mehreren Plaque-Färbetabletten enthalten und wird besonders als 2 %-ige Lösung im Praxisgebrauch verwendet.

In der vorliegenden Arbeit wurden mit einer neuartigen und sehr genauen Meßmethode, dem Hunter-Lab-Spektral-Meßverfahren, die Farbveränderungen der jüngsten Generation von Frontzahnfüllungsmaterialien nach Einwirkung von Chlorhexidin und Erythrosin untersucht. Zur Anwendung kamen eine handelsübliche 0,1 %-ige Chlorhexidin-Digluconat- und eine 2 %-ige Erythrosin-Lösung. Zusätzlich wurden zur Überprüfung der Verfärbungsneigung von Sealern die Oberflächen der Prüfkörper verschieden behandelt - eine Hälfte wurde nach der Politur belassen, die andere Hälfte mit dem zum Produkt gehörigen Sealer nachbehandelt.

Ein objektiver Farbvergleich konnte mit dem modernen Hunter-Lab-Spektralfarbmeßgerät Labscan 5100 vorgenommen werden, die Grundlagen zur Farbmessung und zum Meßverfahren werden ausführlich beschrieben.

Der in vitro-Versuch über einen Zeitraum von 28 Tagen, in dem die Proben 2 x täglich mit den vorstehend erwähnten Lösungen gespült wurden, erbrachte zum großen Teil deutliche Verfärbungen bei allen Kunststoffen.

Alle mit Erythrosin behandelten Materialien hatten sich klinisch unvertretbar verfärbt. Es handelte sich dabei um Infiltrationsverfärbungen - der intensive Farbstoff war oberflächlich ins Material eingedrungen. Wir können aus diesem Grund die häufige Anwendung von erythrosinhaltigen Plaque-relevatoren insbesondere bei Patienten mit ausgedehnten Frontzahnfüllungen nicht empfehlen.

Beim Chlorhexidin-Versuch ergaben sich deutlich geringere Verfärbungen:

Die lichthärtenden Composites Durafill, Heliosit, Prisma Fil und Visio Dispers wurden von uns als die Produkte mit den klinisch vertretbaren Farbveränderungen ermittelt.

Alle Autopolymerisate dagegen lagen außerhalb des klinischen Toleranzbereiches - sie wiesen in der Übersicht eine augenscheinlich stärkere Verfärbungstendenz auf als die lichthärtenden Materialien.

Die mit Sealer nachbehandelten Proben zeigten überwiegend eine stärkere Einfärbung auf als die "nur polierten" Materialien, was die Ansichten einiger Autoren (9, 38, 41) bestätigt.

Einen längerfristigen Chlorhexidin-Gebrauch können wir nach diesen Ergebnissen nur bedingt empfehlen, da bleibende Verfärbungen bei Patienten mit Frontzahnfüllungen zu erwarten sind. Da es sich ebenfalls um Infiltrationsverfärbungen handelt, ist eine mechanische Reinigung durch Polierkörper notwendig. Wo dies nicht möglich ist, wird in jedem Fall eine Erneuerung der Füllungen angezeigt sein.

Beim Vergleich der lichthärtenden mit den autopolymerisierenden Composites schließen wir uns der Auffassung von RÜMANN und LUTZ (56) an, welche die unübersehbaren Vorteile von Porenfreiheit und großer Verarbeitungsbreite der lichthärtenden Materialien als entscheidenden Fortschritt in der Kunststoff-Technik darstellten. Andererseits meinen wir, daß die gravierenden Nachteile der Composites, in erster Linie die hohe Wasseraufnahme, mangelnde Volumenkonstanz und Spaltbildung, schlechte Abrasionsfestigkeit, die Dispersions-schicht und die unzureichende Gewebeverträglichkeit zwingende Argumente zur intensiven Weiterforschung auf diesem Gebiet sein sollten.

Auch darf die Tatsache, daß in dieser Untersuchung einige wenige Materialien ermittelt wurden, die sich als relativ resistent gegenüber den verwendeten Lösungen erwiesen, nicht über eine generell mangelnde Farbkonstanz der Composites hinwegtäuschen. Zu bedenken ist ferner, daß alle Proben unter Idealbedingungen in vitro hergestellt und poliert worden sind.

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADDY, M., ROBERTS, W.R.

Comparison of the bisbiguanide antiseptics alexidine and chlorhexidine. II. Clinical and in vitro staining properties.

J.Clin.Periodontol. 8, 220-230 (1981)

2. ADDY, M., PRAYITNO, S.W.

Light mikroskopische and color television image analysis of the development of staining on chlorhexidine-treated surfaces.

J.Clin.Periodontol. 51, 39-43 (1980)

3. ADDY, M., MORAN, J., DAVIES, R.M., BEAK, A., LEWIS, A.

The effect of single morning and evening rinses of chlorhexidine on the development of tooth staining and plaque accumulation. A blind cross-over trial.

J.Clin.Periodontol. 9, 134-140 (1982)

4. BAY, I.M.

Effect of toothbrushing with different concentrations of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis.

J.dent.Res. 57, 181-185 (1978)

5. BENDEL, W.

Über die Chlorhexidin-Anwendung im Mundhöhlenbereich.

Quintessenz Int.Dent.Dig. 8, 1433-1440 (1981)

6. BORUTTA, A., HEINRICH, R., SENKEL, H.

Die Wirkung von Chlorhexidin in Form einer 0,2 %-igen Lösung und eines 1 %-igen Gels auf die Gingiva und den oralen Hygieniezustand bei Schulkindern.

Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 68, 322-326 (1980)

7. BORUTTA, A., MIRCEVA, M.

Plaquereduktion im Milchgebiß durch chlorhexidinhaltiges Gel.

Stomatol. DDR 30, 402-405 (1980)

8. BRÜCK, H.J., RÖHM, E.  
Mikrospektralphotometrische Messungen im Auflicht.  
Arch.Krim. 147, 35-52 (1971)
9. CASTAGNOLA, L., WIRZ, J., GARBEROGLIO, R.  
Polierbarkeit von Komposit-Füllungen.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 89, 51-56 (1979)
10. CUMMING, B.R. and LÖE, H.  
Optimal Dosage and Method of Delivering Chlorhexidine  
Solutions for the Inhibitions of Dental Plaque.  
J.periodontol.Res. 8, 57-62 (1973)
11. CUTRESS, T.W., BROWN, R.H. and BARKER, D.S.  
Effects on Plaque and Gingivitis of a Chlorhexidine  
Dental Gel in the Mentally Retarded.  
Community dent. oral Epidemiol. 5, 78-83 (1977)
12. DAVIES, R.M., JENSEN, S.B., SCHLÖTT, C.R. and LÖE, H.  
The Effect of Topical Application of Chlorhexidine on  
the Bacterial Colonisation of the Teeth and Gingiva.  
J.periodontol.Res. 5, 96-101 (1970)
13. DEAN, D.  
Chlorhexidine as an antiplaque agent.  
Dent.HYG (Chic.) 50, 157-159 (1976)
14. DOLLES, O.K., ERIKSON, H.M., GJERMO, P.  
Tooth stain during 2 years' use of chlorhexidine- and  
fluoride-containing dentifrices.  
Scand.J.dent.Res. 87, 268-274 (1979)
15. ENGELMANN, U., KLEBER, M., GRÄBER, H.-G., SEDDIG, M.,  
WEIGT, D.  
Ein Beitrag zur Notwendigkeit des Chlorhexidins.  
Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 69, 248-259 (1981)
16. ERIKSEN, H.M. and GJERMO, P.  
Incidence of Stained Tooth Surfaces in Students Using  
Chlorhexidine-Containing Dentifrices.  
Scand.J.dent.Res. 81, 533-537 (1973)

17. FESSELER, A., POKSAWAD; N.  
Über die Zuverlässigkeit dreier Mundhygiene-Indices unter dem Einfluß verschiedener Plaque-Färbungen.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 37, 572-574 (1982)
18. FLOETRA, L., GJERMO, P., ROELLA, G., WAERHAUG, J.  
Side Effects of Chlorhexidine Mouth Washes.  
Scand.J.Dent.Res. 79, 119-125 (1971)
19. FLOETRA, L.  
Different Modes of Chlorhexidine Application and Related Local Side Effect.  
J.periodont.Res. 12, Suppl. 12, 41-44 (1973)
20. GJERMO, P., BAASTAD, K.L. and RÖLLA, G.  
The Plaque-Inhibiting Capacity of 11 Antibacterial Compounds.  
J.periodont.Res. 5, 102-109 (1970)
21. GJERMO, P., ROELLA, G.  
The Plaque-Inhibiting Effect of Chlorhexidine-Containing Dentifrices.  
Scand.J.Dent.Res. 79, 126-132 (1971)
22. GRESCH, U.  
Experimentelle Untersuchungen über die Oberflächenhärte verschieden strukturierter Composites.  
Med.Diss., Kiel (1976)
23. HAMMER, B., HOTZ, P.  
Nachkontrolle von 1- bis 5-jährigen Amalgam-, Komposit- und Goldgußfüllungen.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 89, 301-314 (1979)
24. HAMP, S.E., LINDHE, J. and LÖE, H.  
Long-Term Effect of Chlorhexidine on Developing Gingivitis in the Beagle Dog.  
J.periodont.Res. 8, 63-70 (1973)
25. HANSEN, F., GJERMO, P. and ERIKSEN, H.M.  
The Effect of a Chlorhexidine-Containing Gel on Oral Cleanliness and Gingival Health in Young Adults.  
J.clinical.Periodont. 2, 153-159 (1975)

26. HARTMANN, S., SPRANGER, H.  
Klinische Untersuchungen über fünf Mundhöhlendesinfektionsmittel im Kurzzeitgebrauch.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 37, 597-599 (1982)
27. HEIDEMANN, D., LAMPERT, F., FESSELER, A., DALIEMUNTHE, D.  
Chlorhexidin in Klinik und Zellkultur.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 35, 325-328 (1980)
28. HEIDEMANN, D.  
Wundheilungsstörungen nach Chlorhexidinanwendung - ein Fallbericht.  
Zahnärztl.Welt 9, 68-70 (1981)
29. HOYOS, D.F., MURRAY, J.J., SHAW, L.  
The effect of chlorhexidine gel on plaque and gingivitis in children.  
Brit.dent.J. 142, 365-369 (1977)
30. JENSEN, S.B.  
Untersuchungen über neue Möglichkeiten zur Plaquebeseitigung.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 27, 246-253 (1972)
31. KATZ, S.  
The use of fluoride and chlorhexidine for the prevention of radiation caries.  
J.Americ.Dent.Assoc. 104, 164-170 (1982)
32. KÖTZSCHKE, R.  
Plaque-Indizes.  
Stomatol.DDR 28, 820-835 (1978)
33. KREMERS, L., LAMPERT, F.  
Klinische Untersuchungen über die plaquereduzierende Wirkung von Chlorhexidin-Digluconat mit unterschiedlicher Konzentration.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 34, 365-366 (1979)

34. LANGE, D.E., ALAI-OMID, W. und WEGNER, C.  
Über die Anwendung und den klinischen Vergleich verschiedener Relevatoren zur Diagnostik der Zahn- und Sulcusgingivae-Plaques.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 29, 13-18 (1974)
35. LÖE, H. and SCHLÖTT, C.R.  
The Effect of Mouthrinses and Topical Application of Chlorhexidine on the Development of Dental Plaque and Gingivitis in Man.  
J.periodont.Res. 5, 79-83 (1970)
36. LÖE, H., SCHLÖTT, C.R., KARRING, G. and KARRING, T.  
Two Years Oral Use of Chlorhexidine in Man. I. General Design and Clinical Effects.  
J.periodont.Res. 11, 135-144 (1976)
37. LUTHER, H.  
Experimentelle Untersuchungen über die Oberflächenhärte verschiedener Kompositions-Füllungsmaterialien in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit.  
Med.Diss. Universität Kiel (1977)
38. LUTZ, F., LÜSCHER, B., OCHSENBEIN, H., MÜHLEMANN, H.R.  
Adhäsive Zahnheilkunde.  
Juris Druck & Verlag, Zürich (1976)
39. LUTZ, F., OCHSENBEIN, H., LÜSCHER, B.  
Nachkontrolle von 1 1/4-jährigen Adhäsivfüllungen.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 87, 125-136 (1977)
40. MALDONADO, A., SWARTZ, M.L., PHILLIPS, R.W.  
An in vitro study of certain properties of a glass ionomer cement.  
J.Am.dent.Assoc. 96, 785-791 (1978)
41. MARX, H.  
Zur Farbbeständigkeitsprüfung zahnärztlicher Kunststoffe.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 31, 616-619 (1976)

42. MICHL, R.J.  
Isosit - ein neues zahnärztliches Material.  
Quintessenz Int.Dent.Dig. 9, 29-33 (1978)
43. NAGLE, P.J., TURNBULL, R.S.  
Chlorhexidine: An ideal plaque inhibiting Agent?  
Dent.J. 44, 73-77 (1978)
44. NEWSELY, H.  
Füllungskunststoffe.  
Zahnärztl. Praxis 29, 395-404 (1978)
45. NOLDEN, R.  
Untersuchungen zur Dichte von Composites gegenüber Bakterien und Sproßpilzen.  
Zahnärztl. Welt 88, 1068-1070 (1979)
46. NORDBÖ, H.  
Discoloration of Human Teeth by a combination of Chlorhexidine and Aldehydes or Ketones In Vitro.  
Scand.J.dent.Res. 79, 356-361 (1971)
47. OCHSENBEIN, H.  
1. Chlorhexidin in der Zahnheilkunde. Eine Literaturübersicht.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. (Acta Parodontol.) 83, 113/1 (1973)  
2. Chlorhexidin in der Zahnheilkunde. Fortsetzung einer Literaturübersicht.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. (Acta Parodontol.) 83, 819/109 (1973)
48. PARSONS, J.  
Chemotherapie of Dental Plaque - a Review.  
J.Periodont. 45, 177-184 (1974)
49. PETERSON, J.H.  
Hvad er plaquefarvestoffer?  
Arch.Pharm.Chemie 82, 722-729 (1975)

50. PRAYITNO, S., ADDY, M.  
An in vitro study of factors affecting the development of staining associated with the use of chlorhexidine.  
J.periodont.Res. 14, 397-402 (1979)
51. PRAYITNO, S., TAYLOR, L., CADOGAN, S., ADDY, M.  
An in vitro study of dietary factors in the aetiology of tooth staining associated with the use of chlorhexidine.  
J.periodont.Res. 14, 411-417 (1979)
52. REBSTEIN, F., MATTER, J., VALAZZA, A., CIMASONI, G.  
L'efficacité d'un gel et d'une solution à la chlorhexidine (Plak-out): étude clinique.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 86, 749-763 (1976)
53. RECOMMENDATION on Uniform Color Space, Color Difference, Equations, Psychometric Color Terms.  
Suppl. 2 to CIE Publication 15 (E - 1.3.1.) CIE, Paris (1978)
54. REINHARDT, K.J., VAHL, J.  
Untersuchungen physikalischer Eigenschaften hochglanzpolierbarer Füllungsmaterialien im Vergleich zu Compositen.  
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 547-553 (1978)
55. ROULET, J.F.  
Ein klinischer Vergleich dreier Komposits mit Amalgam im Seitenzahnbereich.  
Zahnärztl. Welt/Ref. 86, 1055-1062 (1977)
56. RÜMANN, F., LUTZ, F.  
Komposits - Lichthärtung. Technische Spielerei oder Fortschritt?  
Swiss Dent 2, 71-74 (1981)
57. SAUERWEIN, E.  
Zahnerhaltungskunde.  
Thieme Verlag Stuttgart (1981)

58. SCHAUPP, H., WOHNAUT, H.  
Geschmacksstörungen durch Munddesinfizientien.  
IINO 26, 335-341 (1978)
59. SCHNEIDER, H.G., FRIEDLÄNDER, B., RICHTER, C.,  
UNGER, E., ZIESENITZ, S.  
Erfahrungen mit Plaque-Relevatoren.  
Stomatol.DDR 31, 904-909 (1981)
60. SCHULTZE, W.  
Farbenlehre und Farbenmessung.  
Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1966)
61. SCHULZE, W.  
Farbveränderungen von zahnärztlichen Kunststoffe durch  
UV-Strahlung.  
Med.Diss. Freie Universität Berlin (1976)
62. SPRANGER, H.  
Indikationen und Applikationsmöglichkeiten von Chlor-  
hexidin in der Zahnheilkunde.  
Zahnärztl. Praxis 27, 208-210 (1976)
63. de TREY, E., LUTZ, F.  
Beurteilung von 16 Monate alten, unterschiedlich auf-  
gebauten, approximalen Frontzahnfüllungen.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 87, 694-704 (1977)
64. TRIADAN, H.  
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung eines  
sogenannten schnitzbaren Kompositfüllungsmaterials  
nach über einjähriger Funktionszeit.  
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 89, 194-202 (1979)
65. VAHL, J., REINHARDT, K.-J.  
Beeinflusst Feuchtigkeit die Polymerisationsreaktion von  
Kompositen?  
Dtsch.zahnärztl.Z. 38, 1070-1072 (1983)
66. VELTMAN, G.  
Dermatologie für Zahnmediziner (u. Mitarbeit v.  
W. Bengel).  
Thieme Verlag Stuttgart (1976)

67. VIOHL, J.

Werkstoffkundliche Untersuchungen der Wasseraufnahme und  
Biegefestigkeit von Kunststoff-Füllungsmaterialien.

Dtsch.zahnärztl.Z. 29, 442-449 (1974)

68. WEBER, D.

Nimeticap, ein mechanisch mischbares Säure-Ätz-Technik-  
Composite in der Applikationskapsel.

Zahnärztl. Welt 88, 24-32 (1979)

69. WITTMANN, B.

Veränderungen der Zahnoberfläche, Füllungswerkstoffe  
und prothetischen Materialien durch Chlorhexidin (Chlor-  
hexamed).

Med.Diss. Universität München (1978)

MANUAL ZUM HUNTERLAB SPEKTRALFARBMESSGERÄT

MODELL LABSCAN 5100

Dr. Slevogt GmbH & Co., 8120 Weilheim/Obb.

Druckschrift 10-25 (1984)

DIN 5033

Farbmessung.

Beuth, Berlin-Köln

UNITED STATES PHARMACOPEIA (USP XX.)

Pharmacopeial Convention, 20. rev., 292-293 (1980)

## LEBENS LAUF

- 1954 am 24. Februar als einziges Kind des Prokuristen  
Hubert Menhofer und seiner Ehefrau Elisabeth  
in Augsburg geboren
- 1960 Einschulung in die Knabenschule Bobingen
- 1964 Übertritt ans Gymnasium Jakob Fugger in Augsburg
- 1966 Wechsel zur Internatsschule Gabrieli-Gymnasium in  
Eichstätt
- 1973 Abitur an dieser Schule und anschließend Verpflichtung zur  
Luftwaffe der Bundeswehr auf 2 Jahre
- 1975 Offiziersprüfung und Beendigung des Wehrdienstes
- 1976 2 Semester Physik an der Universität München
- 1977 Beginn einer zahntechnischen Lehre und mehrjährigen  
Tätigkeit in verschiedenen zahntechnischen Labors
- 1981 Aufnahme des Studiums der Zahnheilkunde an der  
Universität München
- 1983 Zahnärztliche Vorprüfung  
und Vermählung mit der Kommilitonin Gabriele Koch
- 1985 Staatsexamen



